

### 1. Razlika između trošila i potrošača. Karakteristike i primjeri.

Trošilo - uređaj koji električnu energiju pretvara u neki koristan oblik energije (npr. toster)

Potrošač (kupac) - pravna ili fizička osoba spojena na električnu mrežu (npr. Fakultet)

Neke vrste potrošača

- kućanstva (rezidencijalni)
- trgovine/usluge (komercijalni)
- javna potrošnja (rasvjeta)
- industrija

Prema priključku

- jednofazna trošila
  - većina trošila u kućanstvima i uredima
- višefazna trošila
  - veliki motori

Podjela prema vrsti

- omska trošila
  - toster, žarulja...
- elektronički uređaji
  - računalo, televizor...
- motori
  - pumpa, bušilica, hladnjak, klima uređaj...

### 2. Stacionarni i prijelazni oblici energije. Karakteristike i primjeri.

Stacionarni oblici energije

- gravitacijska potencijalna energija
- električna (elektromagnetska) potencijalna energija
- nuklearna energija (fuzije i fisije)
- kinetička energija
- energija mirovanja ( $mc^2$ )
- unutrašnja kalorička energija

Prijelazni

- mehanički rad
- toplinska energija
- električna energija
- rad trenja

### 3. Što je to nazivni napon? Osnovne naponske razine za javne mreže u HR.

Nazivni napon je **ime** naponske razine.

- napon koji se pridjeljuje električnoj opremi i dijelovima sustava za označavanje njihove naponske klase
- nazivni naponi definirani su normama, a primjeri nazivnih napona danas u primjeni u Hrvatskoj su:
  - 400 V (niski napon)
  - 10, 20, 35 kV (srednji napon)
  - 110, 220, 400 kV (visoki napon)
- električna oprema dimenzionirana je tako da u trajnom pogonu može podnijeti napon nešto veći od nazivnog (npr. 10% na prijenosnim vodovima)

### 4. Koja je razlika između prijenosa i razdijele električne energije? Zbog čega se prijenos odvija na višim naponskim razinama?

**Prijenos**

- transport velikih količina električne energije od centara proizvodnje (elektrane) do centara potrošnje (gradovi, regije)
- pri visokom naponu
- na velike udaljenosti

**Razdjela**

- razdioba električne energije unutar centara potrošnje (gradovi, regije) do krajnjih potrošača
- srednji i niski napon
- manje udaljenosti

Prijenos se odvija na višim naponskim razinama jer su tako smanjeni ukupni gubitci pri prijenosu. Gubici u prijenosu,  $P = I^2 \cdot R$ , se smanjuju povećanjem naponske razine (smanjenjem struje) ili povećanjem presjeka voda (smanjenje  $R$ ).

## 5. Što je električna energija? (definicija, mogućnosti pretvorbe, skladištenja...)

- električna energija je tranzijent u procesu pretvaranja električne potencijalne energije u neki drugi oblik energije: mehanički rad, potencijalnu, kinetičku, unutrašnju kaloričku energiju, ...
- električna energija je eksergija - može se u potpunosti pretvoriti u korisne oblike energije
- električna energija je prijelazni oblik energije - ne može se uskladištiti

## 6. Kako glasi prvi glavni stavak termodinamike i kako se odnosi na električnu energiju.

prvi glavni stavak termodinamike:

- princip očuvanja energije
- energija se ne može proizvesti niti potrošiti, već samo mijenja oblik
- električna energija je prijelazni oblik energije, vrijedi u svakom trenutku:

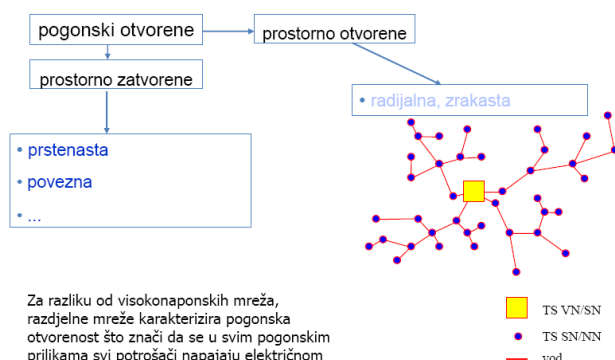
$$\text{PROIZVODNJA} = \text{POTROŠNJA} + \text{GUBICI}$$

## 7. Ukratko objasnite EES, njegove funkcije, svojstva i nabrojite neke najvažnije dijelove.

- sustav koji obuhvaća proizvodnju, prijenos, raspodjelu i potrošnju električne energije
- osnovni zadatak - pouzdana, kvalitetna i ekonomična opskrba potrošača električnom energijom
- sustav čine:
  - elektrane
  - potrošači
  - rasklopna postrojenja
  - transformatori
  - prijenosni vodovi
  - distribucijski vodovi
- sustavi za upravljanje, zaštitu, mjerenja, komunikacije, itd.
  - proizvodnja = potrošnja + gubici (u svakom trenutku rada)
- velika brzina odvijanja prijelaznih procesa
- proizvodnju i potrošnju radne električne energije izmjenične struje prati proizvodnja i potrošnja jalove električne energije i snage
- postojanje stalne i velike neravnomjernosti potražnje električne energije tijekom godine, mjeseca, tjedna, dana pa i sata
- stalna i velika neravnomjernost proizvodnje hidroelektrana, vjetroelektrana i solarnih elektrana ovisna o promjenljivosti dotoka vode, vjetera i Sunčeva zračenja (oblačnosti) tijekom godine, mjeseca, tjedna, dana, pa čak i sata
- povezanost s svim granama gospodarstva - otežava izradbu plana razvoja EES-a

## 8. Što nazivamo proizvodnjom, a što potrošnjom električne energije? Što su gubici električne energije?

- proizvodnja električne energije - pretvorba drugih oblika energije u električnu
- potrošnja električne energije - pretvorba električne u druge oblike energije koji nam koriste
- gubici električne energije - pretvorba električne u druge oblike energije koji nam ne koriste



## 9. Što su 'pogonski otvorene' mreže? Primjeri.

Za razliku od visokonaponskih mreža, razdjelne mreže karakterizira pogonska otvorenost što znači da se u svim pogonskim prilikama svi potrošači napajaju električnom energijom iz samo jednog smjera.

## 10. Kako mala neravnoteže proizvodnje i potrošnje u EES-u utječu na glavne parametre EES-a?

- tijekom normalnog rada EES-a, u svakom trenutku, ukupna proizvedena snaga jednaka je zbroju ukupne snage svih potrošača i ukupnih gubitaka snage u sustavu
- proizvodnja = potrošnja + gubici
- neravnoteža između proizvodnje i potrošnje
  - moguća samo u malim iznosima (značajno manjim od ukupne snage)
  - neravnoteža djelatne snage - odstupanje frekvencije
  - neravnoteža jalove snage - odstupanje napona

### 11. Kako se opterećenje mijenja u vremenu?

- godišnje – (osim u slučaju ratova, velikih prirodnih katastrofa i sl.) opterećenje uglavnom raste zbog povećanja broja stanovnika i porasta životnog standarda
- mjesečno – zbog godišnjih doba i drugih ciklusa (npr. sezona odmora i sl.)
- dnevno – ovisno o danu u tjednu (radni dan, subota, nedjelja) i
- trenutno – električna energija ne koristi se jednoliko tijekom dana

### 12. Što je to faktor istodobnosti? Kako se mijenja s porastom broja promatranih potrošača?

#### Faktor istodobnosti – $g$

- vjerojatnost da će se maksimalno opterećenje pojedinog potrošača dogoditi istovremeno kada i maksimalno opterećenje sustava odnosno grupe potrošača ( $0 < g < 1$ )
- vrijednost faktora istodobnosti opada s brojem promatranih potrošača pogotovo ako pripadaju različitim kategorijama
- faktor istodobnosti ima velik utjecaj na dimenzioniranje elemenata elektroenergetskog sustava

### 13. Koji je osnovni cilj Kyotskog protokola? Nabrojite stakleničke plinove.

- U nekoliko posljednjih desetljeća, povećale su se koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi što je pridonijelo globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama.
- Potpisan s ciljem smanjivanja emisije ugljičnog dioksida i drugih stakleničkih plinova.
- Šest plinova su "stavljani u isti koš" (**ugljični dioksid, metan, dušikov oksid, fluorirani ugljikovodici, perfluorirani ugljikovodici i heksafluorid**) tako da se smanjenje svakog pojedinog plina prevede u "ekvivalentni  $CO_2$ ".

### 14. Objasnite pojmove – restrukturiranje, liberalizacija i deregulacija.

- **Restrukturiranje** – promjena organizacije i ekonomskih odnosa u cilju povećanja učinkovitosti poslovanja i smanjenja troškova
- **Liberalizacija** – poticanje konkurencije i povećanja energetske učinkovitosti a pretpostavlja mogućnost izbora dobavljača od strane potrošača i dostupnost elektroenergetske mreže
- **Deregulacija** – postupak uklanjanja elemenata državne regulacije i nadzora nad nacionalnom ekonomijom a posebno nad tržištem. Usko je vezana uz liberalizaciju.

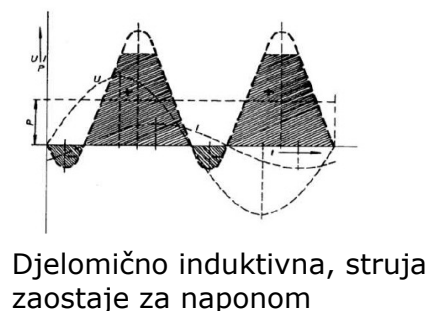
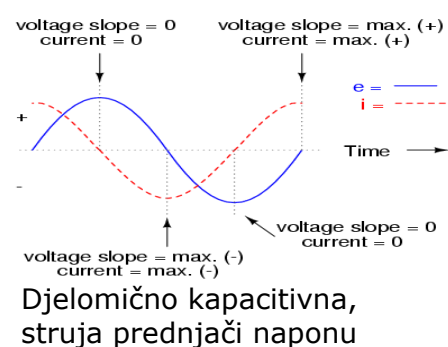
### 15. Objasnite ukratko osnovne karakteristike monopola kao oblika tržišta električne energije.

- U ovakvom obliku organizacije, koji se naziva još i vertikalno integriranim monopolom (VIM), nije prisutna konkurentnost, a potrošači su primorani električnu energiju primati iz jednog jedinog nabavnog kanala
- Najčešće obuhvaća cijeli lanac od proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije i slabo je reguliran (obično samo preko kontrole cijena od strane države).

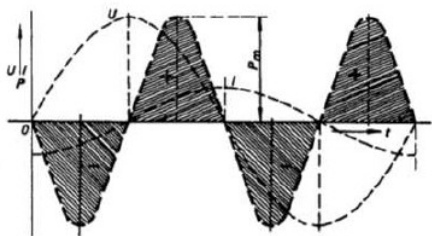
### 16. Objasnite ukratko osnovne karakteristike potpuno otvorenog (liberaliziranog, kompetitivnog) tržišta električne energije.

- U potpuno otvorenom tržištu (engl. *Full Customer Choice Model* – FCCM) kompetitivnost je prisutna u svim sektorima, od proizvodnje pa sve do ponude električne energije individualnim domaćinstvima
- Omogućen je direktan pristup prijenosnim i distribucijskim mrežama
- Prednosti ovog modela su ekonomska učinkovitost, uklanjanje tržišnih nedostataka i nadzor mogućih zloupotreba tržišta električne energije koji bi se provodio dobro prilagođenim nadzornim sustavom

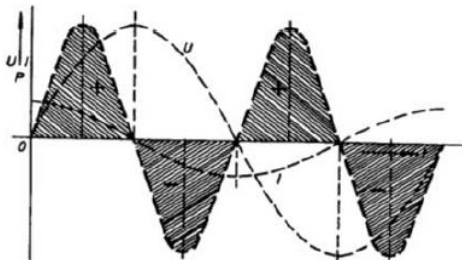
### 17. Koristeći U/I dijagram, prikažite strujno naponske prilike na djelomično kapacitivnoj, djelomično induktivnoj i čisto djelatnoj impedanciji.



## 18. Što je jalova snaga?



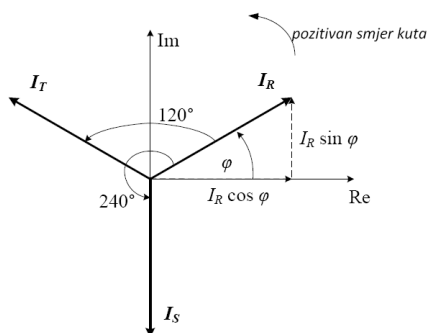
Induktivitet



Kapacitet

- u oba prethodna slučaja  $\cos \varphi = 0$ , ali u jednom slučaju struja kasni, a u drugom prethodi naponu
- trenutne vrijednosti snaga kreću se između  $\pm P_{\max}$
- trošilo u intervalima pozitivnog predznaka snage uzima energiju iz mreže i ta energija se pretvara u energiju magnetskog polja
- u intervalima negativnog predznaka snage, energija se vraća u mrežu
- srednja snaga tijekom jedne periode je nula
- snaga oscilira unutar kruga generator - trošilo
- ne vrši koristan rad i od tuda naziv **jalova ili reaktivna snaga**

## 19. Opišite prilike u simetričnom trofaznom sustavu. Koji/kakvi potrošači unose nesimetriju?



- generatori induciraju elektromotorne sile (napone) svih triju faza po iznosu jednake i međusobno kutnopomaknute  $120^\circ$
- u normalnom pogonu opterećenja svih triju faza su jednaka
- u sve tri faze teku jednake struje po iznosu, međusobno pomaknute za  $120^\circ$
- kod proračuna prilika (napona, struja,...) u trofaznoj mreži u normalnom pogonu, proračune radimo za jednu fazu, pri čemu znamo da se druge dvije faze odvija isto, uz odgovarajući fazni pomak ( $120^\circ$ ,  $240^\circ$ )

### Nesimetrični potrošači:

#### Mali potrošači

- većina malih trošila u sustavu priključena je na jednu fazu
- ukoliko opterećenje nije dobro raspodijeljeno neke faze mogu biti jače opterećene od drugih

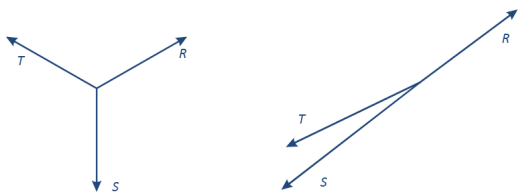
#### Veliki nesimetrični potrošači

- velika industrijska postrojenja sa elektrolučnim pećima (jednofazni potrošač)
- željeznica (dvofazni potrošač)

## 20. Nacrtajte fazore napona simetričnog i nekog proizvoljnog nesimetričnog sustava. Komentirajte razlike među njima. Koji su kvarovi simetrični, a koji nesimetrični?

Simetričan sustav

Nesimetričan sustav



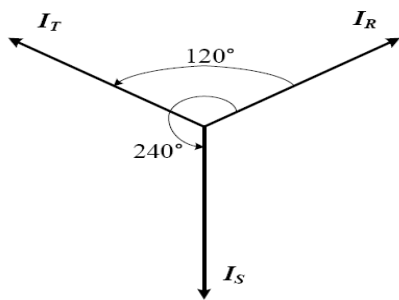
Nesimetrični kvarovi – svi kvarovi osim onih koji se na isti način događaju u sve tri faze – dakle kvarovi u jednoj ili dvije faze, npr.

- kontakt faze (ili dviju faza) s drugim elementima iz sustava ili okoline (koji su na različitom potencijalu)
- međusobni kontakt dviju faza

## 21. Što su simetrične komponente?

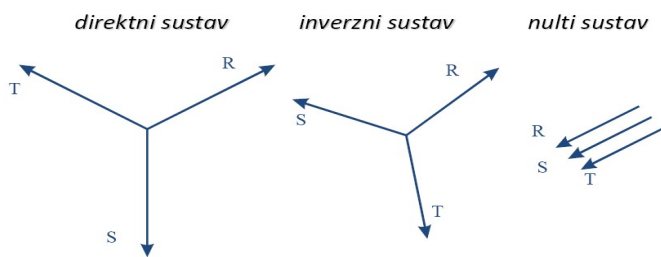
Simetrične komponente su komponente koje se upotrebljavaju za prikaz trofazne struje koja se sastoji od 3 izmjenične struje koje su međusobno vremenski fazno pomaknute za jednu trećinu periode, što odgovara faznom pomaku od  $120^\circ$ . Ako su amplitude svih triju struja jednake takav sustav se naziva simetričan sustav.

## 22. Opišite sustave simetričnih komponenti (direktni, inverzni i nulti sustav).



Prema metodi simetričnih komponenti moguće je svaki nesimetričan sustav rastaviti na tri simetrična sustava koji se redom nazivaju direktni, inverzni i nulti sustav. Odnosno, 3 kakva god vektora međusobno različita po fazi ili kutu (struje, napona) koji prezentiraju prilike u nekom dijelu nesimetričnog sustava, moguće je zamijeniti sa 3 sustava od po 3 vektora, od kojih svaki predstavlja komponentu originalnog vektora. Međusobno zbrojene komponente vektora u direktnom, inverznom i nultom sustavu daju originalan vektor. Pri tome vrijedi za vektore jednog od tih simetričnih sustava da su sve komponente jednake po iznosu i međusobno fazno pomaknute za jedan kut. Direktni sustav izgleda kao i simetrični trofazni sustav. Inverzni sustav također izgleda

kao simetrični trofazni sustav, ali sa zamijenjenim redoslijedom faza (faze S i T su zamijenjene). Nulti sustav izgleda kao trofazni sustav u kojem se u svim fazama događa isto (i po iznosu i po kutu), tj. kao da su sve tri faze zajedno spojene.



## 23. Objasnite pretvorbe iz 3f sustava u sus. sim. komp.

Pretvorbu iz trofaznog sustava u sustav simetričnih komponenti moguće je izvršiti grafički i analitički. Zbrajanjem tri komponente struje jedne faze, u direktnom, inverznom i nultom sustavu dobivamo stvarnu veličinu struje u jednoj fazi. Ako se relacije međusobno kombiniraju, moguće je iz stvarnih vektora struja dobiti komponente vektora struje faze R, u direktnom, inverznom i nultom sustavu – time, naravno, dalje i komponente struja ostale dvije faze S i T.

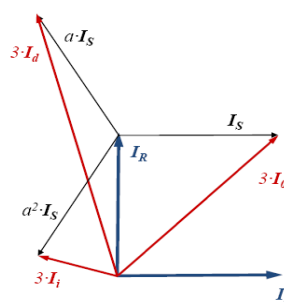
$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_i \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_d \\ I_i \\ I_0 \end{bmatrix}$$

## 24. Grafičko određivanje simetričnih komponenti.

Ovo može doći samo zadatak tak da to isto pogledajte u zbirku "Auditorne\_vježbe\_v\_0.8" stranice od 6 pa nadalje.

Komentar – crtanje se radi po izvodu formula.



$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_i \\ I_0 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_R \\ I_S \\ I_T \end{bmatrix}$$

$$3 \cdot I_d = I_R + a \cdot I_S + a^2 \cdot I_T$$

$$3 \cdot I_i = I_R + a^2 \cdot I_S + a \cdot I_T$$

$$3 \cdot I_0 = I_R + I_S + I_T$$

$$3 \cdot I_d = I_R + a \cdot I_S$$

$$3 \cdot I_i = I_R + a^2 \cdot I_S$$

$$3 \cdot I_0 = I_R + I_S$$

## 25. Primjeri rastava 3f sustava na simimetrične komponente.

Pogledati zbirku "Auditorne\_vježbe\_v\_0.8" stranice 7,9,10.

## 26. Objasnite pojam magnetske tromosti.

Magnetska tromost je pojava koja se javlja kada prstenasti vodič ( $R \neq 0$ ) naglo uklonimo iz polja magneta. Tada početna vrijednost struje vodiča ( $i_0$ ) nastoji održati ukupni tok ulančan tim prstenastim vodičem nepromjenjen. Pokušava ga održati na onoj vrijednosti koju je imao prije promjene položaja vodiča, dakle tok ne može trenutno pasti na vrijednost nula. Magnetska tromost kraće traje što je otpor veći. Kada bi otpor prstenastog vodiča bio 0 struja  $i_0$  bi teoretski beskonačno dugo ostala te početne vrijednosti. Ova pojava je izražena u krugovima sa relativno malim djelatnim otporima (namot sinkronog generatora).

$$i \cdot R + \frac{L \cdot di}{dt} = 0$$

$$i = i_0 \cdot e^{(-t \cdot R/L)}$$

## 27. Kako se i zbog čega mijenja direktna nadomjesna reaktancija sinkronog generatora od trenutka nastanka kratkog spoja?

Direktna nadomjesna reaktancija od trenutka kratkog spoja počinje kontinuirano rasti zato što se izmjenične komponente struja KS u rotorskim namotima prigušuju na stacionarnu vrijednost kada istosmjerne komponente struje KS u statorskom namotu iščezavaju.

Komentar – smanjenje struje k.s. uzrokovano je povećanjem impedancije.

## 28. Kakav je odnos početne i stacionarne struje KS ukoliko je radni otpor statorskog namota generatora jednak nuli?

Zbog magnetske tromosti magnetski tok će se htjeti održati konstantnim te će poteći struja kratkog spoja koja se sastoji od istosmjerne i izmjenične komponente. Kako je otpor  $R = 0$ , ta struja se neće prigušivati (eksponencijalni zakon), već će se održavati cijelo vrijeme konstantnom.

## 29. Što se dešava s iznosom inverzne nadomjesne reaktancije sinkronog generatora za vrijeme trajanja kratkog spoja?

Za vrijeme trajanja kratkog spoja inverzna nadomjesna reaktancija kratkog spoja ostaje nepromijenjena.

## 30. Nulta nadomjesna reaktancija sinkronog generatora

To je reaktancija sinkronog generatora u nultom sustavu.

- ako je zvijezdište generatora nije uzemljeno:

$$X_0 = \text{besk.}$$

- ako je zvijezdište generatora uzemljeno:  $X_0 = (L_0 - 2M_0)$

$L_0$  – konstantna komponenta induktiviteta statorskog namota

$M_0$  – konstantna komponenta međui induktiviteta između dvije faze statorskog namota

## 31. Faradayev zakon

Princip elektromagnetske indukcije po kojem se u faznim namotima "generira" napon.

Glasi: elektromotorna sila odnosno napon  $U$  induciran u zavojnici s  $N$  zavoja proporcionalan je broju zavoja i brzini promjene magnetskog toka kroz zavojnicu:

$$U = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \quad \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

## 32. Lentzov zakon

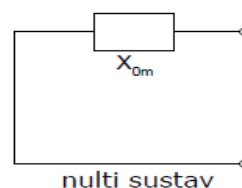
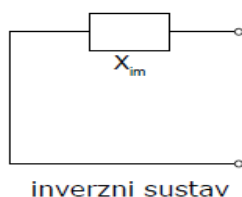
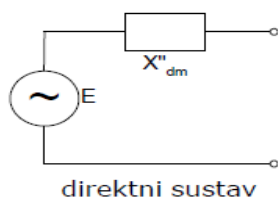
Inducirana EMS takvog je smjera da se struja koju proizvodi protivi promjeni magnetskog toka.

## 33. Primjeri nadomjesnih shema dvonamotnih transformatora

## 34. Primjeri nadomjesnih shema tronamotnih transformatora

**A nema se tu sta za objasnjavat i pisat, treba znat nacrtat nadomjesne sheme za direktni nulti i inverzni sustav za bilo koju kombinaciju koju nam moze zadat. Proučiti pred04**

## 35. Nadomjesne sheme aktivne mreže.



## 36. Koja je osnovna razlika izvedbe transformatora s peterostupnom i trostupnom jezgrom.

Kod transformatora s trostupnom jezgrom

magnetski otpor jezgre za nultu komponentu je najveći (jer se magnetski tok mora zatvoriti kroz zrak, dok za 5-stupnu se zatvara kroz željezo), pa je potrebna veća struja magnetiziranja; nulta reaktancija magnetiziranja najmanja je za trostupnu jezgru.

## 37. Na koje sve načine utječe izvedba transformatora na iznos nulte nadomjesne reaktancije transformatora?

Iznos nulte reaktancije ovisi o:

- izvedbi jezgre i kotla transformatora (trostupna jezgra =  $X_{0m} = 4-5 X_d$ , peterostupna jezgra =  $X_d \ll X_{0m} \leq X_m$ , tri odvojene jezgre =  $X_{0m} = X_m \sim 100 X_d$ ), spoju namota (trokut, zvijezda), uzemljenju nultočke (ako je izolirana,  $X_0 = \text{besk}$ )



### 38. O čemu sve ovise nadomjesne reaktancije zračnih vodova?

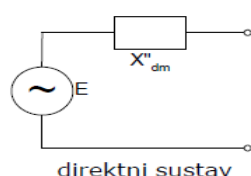
direktna/inverzna reaktancija:

- geometrijski raspored faznih vodiča
- promjer vodiča
- preplet faza

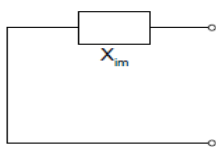
nulta reaktancija:

- geometrijski raspored faznih vodiča
- promjer vodiča
- preplet faza
- vodljivost tla
- zaštitni vodič

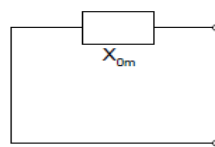
### 39. Prikažite nadomjesne sheme aktivne mreže u direktnom, inverznom i nultom sustavu. Koji su izrazi za proračun pojedinih nadomjesnih reaktancija?



direktni sustav



inverzni sustav



nulti sustav

$$X''_{dm} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{K3}} = X_{im}$$

$$X_{0m} = c \cdot U_n^2 \cdot \left( \frac{3}{S_{K1}} - \frac{2}{S_{K3}} \right)$$

### 40. Kako pasivna trošila (pretpostavljeno) utječu na proračun prilika u kratkom spoju?

U proračunima kratkog spoja (IEC 60 909) pretpostavlja se da je mreža u praznom hodu (ne uzimaju se u obzir pasivna trošila)

### 41. Navedite osnovne postavke metode reduciranih impedancija

- u nadomjestim shemama komponentnih sustava transformatore zamjenjujemo reaktancijama (impedancijama) uz pretpostavku da je njihov prijenosni omjer 1:1

- da bi se održali jednaki odnosi koji vrijede u stvarnosti potrebno je preračunati

sve impedancije na isti (**bazni**) napon

- odabir  $U_B$  je proizvoljan, ali se najčešće odabire kao:

- nazivni napon dijela mreže u kojem se nalazi mjesto kratkog spoja

$$S = konst. \Rightarrow Z_B = Z_N \left( \frac{U_B}{U_N} \right)^2$$

- naponska razina koja se u mreži najčešće pojavljuje

$$I = I_b \frac{U_B}{U_N} \quad U = U_b \frac{U_N}{U_B}$$

- pri tome za stvarne vrijednosti napona i struja vrijedi:

### 42. Navedite osnovne postavke metode jediničnih vrijednosti.

- sve veličine izražavaju se u odnosu na osnovne (nazivne) veličine i nemaju mjernu jedinicu
- odabire se jedna osnovna (bazna) snaga za čitavu mrežu
- naponi se izražavaju relativno u odnosu na nazivni napon (u dijelu mreže)

### 43. Kakav je doprinos asinkronog motora strujama kratkog spoja? Kada je moguće zanemariti njihov doprinos (prema IEC60909)?

- asinkroni motor počinje napajati mjesto kratkog spoja (mala impedancija) što znači da prelazi u generatorski režim rada pri čemu se rotor i dalje vrti neko vrijeme zbog inercije

- teret na osovini rotora zaustavlja vrtnju asinkronog motora pa on prestaje doprinositi aktivno struju kratkog spoja:

- u slučaju trofaznog kratkog spoja "bliskog" asinkronom motoru on doprinosi početnoj i prijelaznoj komponenti struje kratkog spoja

- u slučaju dvofaznog kratkog spoja "bliskog" asinkronom motoru on doprinosi i trajnoj komponenti struje kratkog spoja

- doprinos struji jednofaznog kratkog spoja je zanemariv s obzirom da je redovito  $X_{0m} = \infty$

### 44. Vrste kratkih spojeva.

- a) trofazni
- b) dvofazni
- c) dvofazni sa zemljom
- d) jednofazni
- e) dvostruki jednofazni

#### 45. Što je zemljospoj?

zemljospoj je električna vodljiva veza između zemlje odnosno uzemljena predmeta i vodiča ili dijela postrojenja koji je u redovitom radu izoliran i pod naponom prema zemlji

#### 46. Primjeri simetričnih i nesimetričnih kvarova.

Prostor za upisivanje (npr. simetrični je trofazni k.s., a nesimetrični su ostala 4: 2-fazni, 2-fazni sa zemljom, 1-fazni i 1-fazni s zemljom)

#### 47. Koje su vrijednosti struje kratkog spoja mjerodavne za odabir opreme u EES-u?

tri su vrijednosti struje kratkog spoja mjerodavne za izbor opreme u EES-u neovisno koja je vrsta kratkog spoja najnepovoljnija:

- udarna struja KS
- rasklopna struja KS
- struja mjerodavna za ugrijavanje za vrijeme trajanja kratkog spoja (termička struja KS)

#### 48. Što je udarna struja kratkog spoja? Na što utječe?

$I_u$  – **najveća** vrijednost struje kratkog spoja od trenutka njenog nastanka

Utječe na određivanje **najvećih dinamičkih napreznja** elemenata mreže za vrijeme trajanja kratkog spoja

$$I_u = k\sqrt{2} I_k''$$

#### 49. Što je i zašto je bitna rasklopna struja KS? Određivanje mjesta mjerodavnog za dimenzioniranje prekidača (primjeri).

Rasklopna struja - efektivna vrijednost one struje kratkog spoja koja protječe kroz prekidač u trenutku odvajanja njegovih kontakata.

$$I_r = \sqrt{I_k''^2 + I_a^2}$$

gdje je  $I_k''$  izmjenična komponenta (najnepovoljnije vrste) struje kratkog spoja, a  $I_a$  istosmjerna komponenta struje kratkog spoja.

Izbor prekidača – prema rasklopnoj snazi:  $S_r = \sqrt{3} * U_r * I_r$

Izbor mjesta za dimenzioniranje prekidača (određivanje rasklopne snage) – prekidač mora prekinuti najveću struju koja se može pojaviti na njegovim kontaktima, pretpostavka da su najveće struje pri k.s. sabirnice i u odvodu u kojem je prekidač ako je k.s. odmah iza prekidača, mjerodavna struja je najveća od svih struja.

PRIMJERI: vidi mjesta mjerodavna za određivanje struja k.s., predavanje6, slide 42-47, 4. slučaja

#### 50. Objasnite utjecaj istosmjerne i izmjenične komponente struje kratkog spoja na udarnu struju kratkog spoja.

Istosmjerna struja utječe na trenutak nastanka maksimalne udarne struje (nastaje prije ako je omjer  $R/X$  veći). Opadanje opisuje faktor

$$k = 1.02 + 0.98 * e^{(-3 * R/X)} = 1.8 * \sqrt{2}$$

Maksimalan iznos istosmjerne komponente struje je kada k.s. nastane u trenutku kad je napon 0 (tok maksimalan).

Izmjenična komponenta struje po amplitudi ne ovisi o trenutku nastanka k.s....

#### 51. Objasnite utjecaj obuhvaćenog magnetskog toka u trenutku nastanka kratkog spoja na iznos struje kratkog spoja.

Obuhvaćeni magnetski tok utječe na iznos istosmjerne komponente struje k.s., tako da je njen iznos najveći kad je obuhvaćeni tok maksimalan, a najmanji kad je tok 0.

#### 52. Kako djelatni otpor utječe na iznos i vrijeme nastanka udarne struje KS?

maksimalna tjemena vrijednost struje kratkog spoja u strujnom krugu **bez djelatnog otpora** pojaviti će se polovinu periode nakon nastanka kratkog spoja ( $t_u = 0.01$  sek) a u krugu sa djelatnim otporom pojaviti će se ranije ovisno o veličini omjera  $R/X$ , eksponencijalni zakon  $e^{-(R/X * t)}$



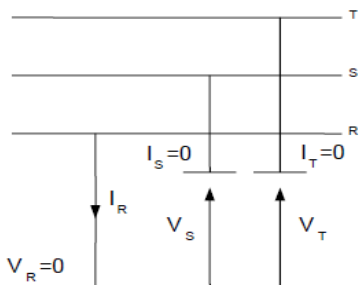
### 53. Što je i o čemu ovisi struja mjerodavna za ugrijavanje za vrijeme KS?

Efektivna vrijednost struje kratkog spoja u vremenu od nastanka kratkog spoja do trenutka prekida kratkog spoja,

$$I_t = I_k \sqrt{m+n} = \sqrt{\left( \left( \frac{1}{t} \right) * \int (i^2 dt) \right)}$$

$I''_k$  – efektivna vrijednost izmjenične komponente struje za najnepovoljniji KS, ovisi o izmjeničnoj i istosmjernoj komponenti struje ks

### 54. Opišite prilike na mjestu jednofaznog kratkog spoja (K1) (slika, fazne vrijednosti, iznos struje KS, simetrične komponente). Nacrtajte nadomjesnu shemu.



prilike na mjestu kratkog spoja:

$$\bar{I}_S = \bar{I}_T = 0 \quad \bar{V}_R = 0$$

simetrične komponente:

$$\bar{I}_d = \frac{1}{3} \bar{I}_R + a \bar{I}_S + a^2 \bar{I}_T = \frac{1}{3} \bar{I}_R$$

$$\bar{I}_i = \frac{1}{3} \bar{I}_R + a^2 \bar{I}_S + a \bar{I}_T = \frac{1}{3} \bar{I}_R$$

$$\bar{I}_0 = \frac{1}{3} \bar{I}_R + \bar{I}_S + \bar{I}_T = \frac{1}{3} \bar{I}_R$$

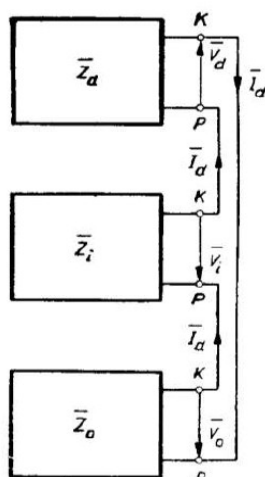
strujno-naponske prilike na mjestu kvara:

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_R \\ \bar{I}_S \\ \bar{I}_T \end{bmatrix} = \frac{3\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

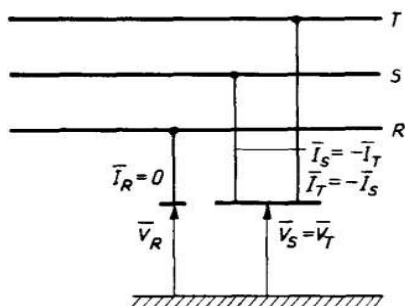
$$\bar{I}_{K1} = \bar{I}_R = \frac{3\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{V}_S \\ \bar{V}_T \end{bmatrix} = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \begin{bmatrix} 0 \\ (a^2 - a)\bar{Z}_i + (a^2 - 1)\bar{Z}_0 \\ (a - a^2)\bar{Z}_i + (a - 1)\bar{Z}_0 \end{bmatrix}$$

$$S_{K1} = 3|\bar{I}_R \bar{E}_d| = 3 \left| \bar{E}_d \frac{3\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0} \right| = 3 \frac{3|\bar{E}_d|^2}{|\bar{Z}_d + \bar{Z}_i + \bar{Z}_0|}$$



### 55. Opišite prilike na mjestu dvofaznog kratkog spoja (K2). Nacrtajte nadomjesnu shemu.



prilike na mjestu kratkog spoja:

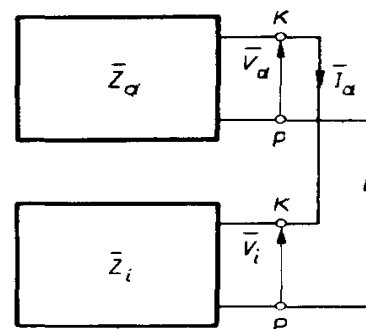
$$\bar{I}_R = 0 \quad \bar{V}_S = \bar{V}_T \quad \bar{I}_S + \bar{I}_T = 0$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_R \\ \bar{I}_S \\ \bar{I}_T \end{bmatrix} = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \begin{bmatrix} 0 \\ a^2 - a \\ a - a^2 \end{bmatrix}$$

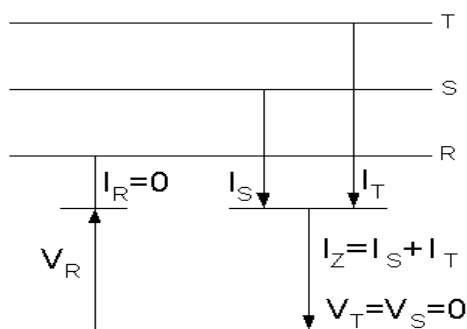
$$\bar{I}_{K2} = \bar{I}_S = -\bar{I}_T = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} (a^2 - a)$$

$$|\bar{I}_{K2}| = \sqrt{3} \left| \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \right|$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{V}_S \\ \bar{V}_T \end{bmatrix} = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \begin{bmatrix} 2\bar{Z}_i \\ (a^2 + a)\bar{Z}_i \\ (a - a^2)\bar{Z}_i \end{bmatrix}$$



**56. Opišite prilike na mjestu dvofaznog kratkog spoja uz istovremeni spoj sa zemljom (K2Z). Nadomjesna shema.**



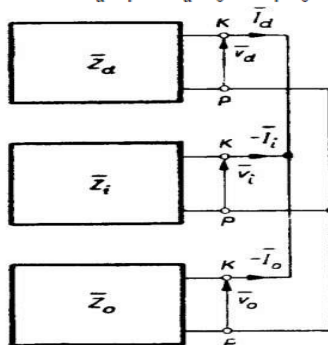
prilike na mjestu kratkog spoja:

$$\begin{aligned}\bar{I}_R &= 0 \\ \bar{I}_Z &= \bar{I}_S + \bar{I}_T \\ \bar{V}_S &= \bar{V}_T = 0\end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_R \\ \bar{I}_S \\ \bar{I}_T \end{bmatrix} = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_d \bar{Z}_0 + \bar{Z}_i \bar{Z}_0} \begin{bmatrix} 0 \\ (a^2 - 1)\bar{Z}_i + (a^2 - a)\bar{Z}_0 \\ (a - 1)\bar{Z}_i + (a - a^2)\bar{Z}_0 \end{bmatrix}$$

$$\bar{I}_Z = \frac{-3\bar{Z}_i \bar{E}_d}{\bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_d \bar{Z}_0 + \bar{Z}_i \bar{Z}_0}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{V}_S \\ \bar{V}_T \end{bmatrix} = \frac{3\bar{E}_d \bar{Z}_i \bar{Z}_0}{\bar{Z}_d \bar{Z}_i + \bar{Z}_d \bar{Z}_0 + \bar{Z}_i \bar{Z}_0} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

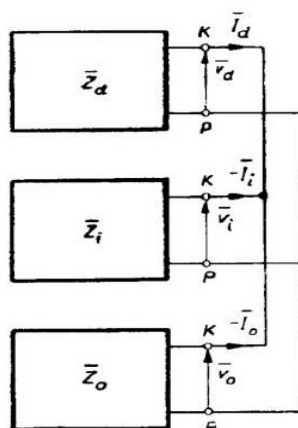


**57. K2Z u neuzemljenoj mreži**

ako mreža nije uzemljena ( $Z_0 = \infty$ )

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_R \\ \bar{I}_S \\ \bar{I}_T \end{bmatrix} = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \begin{bmatrix} 0 \\ a^2 - a \\ a - a^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{V}_S \\ \bar{V}_T \end{bmatrix} = \frac{\bar{E}_d \bar{Z}_i}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_i} \begin{bmatrix} 3 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$



**58. Opišite prilike na mjestu trofaznog kratkog spoja (K3). Nacrtajte nadomjesnu shemu.**

prilike na mjestu kratkog spoja:

$$\begin{aligned}\bar{V}_R &= \bar{V}_S = \bar{V}_T \\ \bar{I}_R + \bar{I}_S + \bar{I}_T &= 0\end{aligned}$$

simetrične komponente:

$$\bar{V}_d = \frac{1}{3} \bar{V}_R + a\bar{V}_S + a^2\bar{V}_T = 0 \Rightarrow \bar{E}_d = \bar{V}_d + \bar{I}_d \bar{Z}_d \Rightarrow \bar{I}_d = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d}$$

$$\bar{V}_i = \frac{1}{3} \bar{V}_R + a^2\bar{V}_S + a\bar{V}_T = 0 \Rightarrow 0 = \bar{V}_i + \bar{I}_i \bar{Z}_i \Rightarrow \bar{I}_i = 0$$

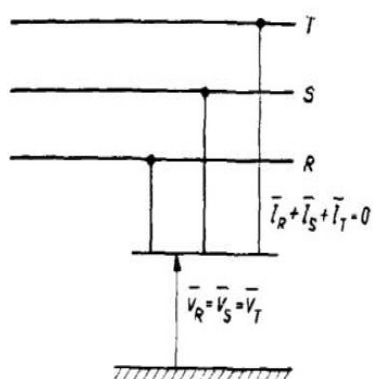
$$\bar{V}_0 = \frac{1}{3} \bar{V}_R + \bar{V}_S + \bar{V}_T = 0 \Rightarrow 0 = \bar{V}_0 + \bar{I}_0 \bar{Z}_0 \Rightarrow \bar{I}_0 = 0$$

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_R \\ \bar{I}_S \\ \bar{I}_T \end{bmatrix} = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d} \begin{bmatrix} 1 \\ a^2 \\ a \end{bmatrix}$$

$$\bar{I}_{K3} = \bar{I}_R = \bar{I}_d = \frac{\bar{E}_d}{\bar{Z}_d}$$

$$\begin{bmatrix} \bar{V}_R \\ \bar{V}_S \\ \bar{V}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$S_{K3} = 3 |\bar{E}_d \bar{I}_R| = 3 |\bar{E}_d \bar{I}_d| = 3 \frac{|\bar{E}_d|^2}{|\bar{Z}_d|}$$



Za proračun trofaznog kratkog spoja potreban je samo direktni sustav.

## 59. Karakteristične veličine transformatora (energetskih)

karakteristične veličine energetskih transformatora

### - prijenosni omjer -

omjer broja zavoja primarne i sekundarne strane transformatora približno je jednak omjeru primarnog i sekundarnog napona za transformator u praznom hodu često se prijenosni omjer navodi kao omjer nazivnih napona primarne i sekundarne strane transformatora (za trofazni transformator to su linijske vrijednosti) pri tome se pod sekundarnom stranom podrazumijeva on strana na koju se transformira energija

### - nazivna snaga-

za dvonamotni transformator to je prividna snaga za koju je dimenzioniran transformator, a dobiva se iz izraza:

$$S_n = \sqrt{3} * U_{2n} * I_{2n} ,$$

definira se kao izlazna snaga pa formula nije u skladu s definicijom jer je potreban napon  $U_2$  pri nazivnoj sekundarnoj struji  $I_{2n}$  (ne  $U_{2n}$ , napon praznog hoda), transformatori se standardiziraju prema nazivnoj snazi, za tronamotne transformatore potrebno znati snagu svakog namota zasebno (npr 60/40/20 MVA)

### - grupa spoja

grupa spoja transformatora ovisi o zahtjevima mreže (npr. da li se u mreži uzemljuje nultočka) povezivanje VN mreža najčešće korištene grupe spoja su: Yy0 (kod transformatora manjih snaga), Yd5 (spoj generatora na mrežu, spaja se u trokut i sprečava prelaz trećeg harmonika u mrežu), Dy5;

tronamotni transformatori – Yy0d5 (spoj namota najvišeg i srednjeg napona u zvijezdu ili priključak sinkronog kompenzatora), Yd5y0 (priključak vlastitog trošila u elektrani), Yd5d5 – spoj dva generatora preko jednog transformatora

### - relativni napon kratkog spoja

prirodna karakteristika svakog transformatora koja proizlazi iz njegove izvedbe (geometrije)

- što se tiče normalnog pogona povoljniji je manji uk, dok u uvjetima kratkog spoja veći, normalno se kreće između 3 i 20%; niže vrijednosti se odnose na transformatore manjih snaga

### - regulacija

Promjena prijenosnog omjera (regulacija): – radi mogućnosti regulacije napona transformatori se izvode s određenim brojem zavoja koji se mogu isključiti ili uključiti iz prijenosnog omjera razlikujemo :

- transformatore s otcjepima
- regulacijske transformatore

### - način hlađenja

## 60. Što je prijenosni omjer kod energetskih transformatora? Što je prijenosni omjer kod NMT i SMT?

Kod energetskih – omjer zavoja primara i sekundara (približno omjer primarnog i sekundarnog napona, često omjer nazivnih napona primara i sekundara);

Prijenosni omjer kod NMT je omjer nazivnog primarnog i nazivnog sekundarnog napona (nazivni primarni napon je linijski napon kod dvofaznih, odnosno fazni kod jednofaznih), a kod SMT to je omjer primarne i sekundarne nazivne struje (ne odgovara omjeru broja zavoja zbog  $I_0$  – struje magnetiziranja).

## 61. Na koje se načine može regulirati napon transformatora?

Regulacija se izvodi dodavanjem mogućnosti uklapanja/isklapanja određenog broja zavoja transformatora – po izvedbi razlikujemo transformatore sa otcjepima i regulacijske transformatore. Transformator s otcjepima – može mijenjati prijenosni omjer samo u beznaponskom stanju, obično se izvode sa 3 ili 5 položaja preklopke.

– primjer s 3 položaja:  $30 \pm 5\% / 10 \text{ kV} = 31,5/10, 30/10 \text{ i } 28,5/10 \text{ kV}$

– primjer s 5 položaja  $30 \pm 2 \cdot 5\% / 10 \text{ kV}$

uobičajeni otcjepi su  $\pm 4$  ili  $\pm 5\%$  ( a može i  $\pm 2,5$  i  $\pm 7,5\%$  )

Zbog konstrukcije transformatora, izvedba otcjepa je nepovoljna (aksijalne sile među namotima zbog nesimetrije namota, refleksija vala prenapona na otvorenim otcjepima) pa otcjepe treba izbjegavati!

## 62. Regulacijski transformatori (primjeri, npr. kod HE i TE)

### • regulacijski transformator

- moguće je mijenjati prienosni omjer za vrijeme pogona
- izvode s većim brojem stupnjeva regulacije nego transformatori s otcjepima
- uobičajeno se maksimalna regulacija kreće u granicama  $\pm 10\%$  ili  $\pm 20\%$
- pri tome je napon jednog stupnja regulacije  $1.5 - 2\%$
- npr. za  $110 \text{ kV} \pm 10 \times 1.5\% / 10.5 \text{ kV}$  moguć je 21 položaj regulacijske sklopke (od  $126.5/10.5 \text{ kV}$  do  $93.5/10.5 \text{ kV}$ )
- regulacijska sklopka može se smjestiti i na VN i na NN stranu, ali obično se smješta na VN stranu jer su tamo struje manje pa je regulacijska sklopka jeftinija i lakša
- izvedbe – kao jedna jedinica (transformator + regulacijska sklopka), kao dvije jedinice (1-transformator s fiksnim prienosnim omjerom + 2-autotransformator s mogućnošću regulacije)
- primjena – HE – regulacija napona na generatoru, nema potrebe za regul. transf.
  - TE – generator nema mogućnost regulacije napona, ona se vrši regulacijskim transformatorom s širokim opsegom

## 63. Što određuje grupu spoja transformatora? Navedite karakteristične primjene nekih grupa spoja.

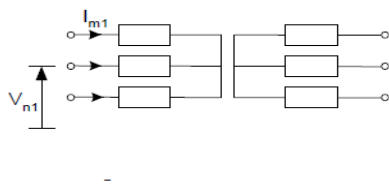
Grupa spoja transformatora ovisi o zahtjevima mreže (npr. da li se u mreži uzemljuje nultočka). Za povezivanje VN mreža najčešće korištene grupe spoja su: Yy0 (kod transformatora manjih snaga), Yd5 (spoj generatora na mrežu, spaja se u trokut i sprečava prelaz trećeg harmonika u mrežu), Dy5; - tronomotni transformatori – Yy0d5 (spoj namota najvišeg i srednjeg napona u zvijezdu ili priključak sinkronog kompenzatora), Yd5y0 (priključak vlastitog trošila u elektrani), Yd5d5 – spoj dva generatora preko jednog transformatora

## 64. Ukratko objasnite pokus praznog hoda transformatora.

### Pokus praznog hoda transformatora

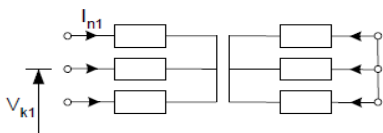
Ako se transformator s jedne strane priključi na napon, a s druge strane ostave stezaljke otvorene, uzimat će iz mreže samo struju praznog hoda, odnosno snagu potrebnu za pokrivanje gubitaka praznog hoda. Struja uklapanja je neusporedivo veća od trajne struje praznog hoda (do 100 puta).

Struja praznog hoda sastoji se od jalove komponente za magnetiziranje jezgre, vrlo male komponente u fazi s naponom, koja služi za pokrivanje gubitaka, te male komponente struje nabijanja kapaciteta namota. Komponenta za magnetiziranje je daleko veća, pa se može uzeti da je struja praznog hoda jednaka struji magnetiziranja.



- stezaljke sekundara ostavimo odspojene
- na primar dovedemo nazivni napon  $V_{n1}$
- s  $i_m$  označimo relativnu struju praznog hoda
- $i_m < 0,1$

## 65. Ukratko objasnite pokus kratkog spoja transformatora.



- kratko spojimo stezaljke na sekundaru
- podižemo napon na primaru dok struja na primaru ne dosegne  $I_{n1}$
- s  $u_k$  označimo relativni napon kratkog spoja
- $u_k \sim 0,1$

$$u_k = \frac{V_{k1}}{V_{n1}}$$

$$X_{k1} = \frac{V_{k1}}{I_{n1}} \text{ } [\Omega]$$

$$X_{k1} = \frac{V_{k1}}{V_{n1}} \cdot \frac{V_{n1}}{I_{n1}} = u_k \cdot \frac{V_{n1}}{I_{n1}} = u_k \cdot \frac{V_{n1}}{I_{n1}} \cdot \frac{3 \cdot V_{n1}}{3 \cdot V_{n1}} = u_k \cdot \frac{U_{n1}^2}{S_n} \text{ } [\Omega]$$

- ponovimo isti pokus tako da zamijenimo strane transformatora
- pri tome uvijek vrijedi da je

$$\frac{X_{d1}}{X_{d2}} = \left( \frac{U_{n1}}{U_{n2}} \right)^2$$

- dobivamo:

$$X_{k2} = \frac{V_{k2}}{I_{n2}} [\Omega]$$

$$X_{k2} = u_k \cdot \frac{U_{n2}^2}{S_n} [\Omega]$$

- dakle

$$X_{k1} = u_k \cdot \frac{U_{n1}^2}{S_n} [\Omega]$$

$$X_{k2} = u_k \cdot \frac{U_{n2}^2}{S_n} [\Omega]$$

#### Pokus kratkog spoja transformatora

Pri pokusu kratkog spoja transformatora sekundar se kratko spoji, a primar napaja sniženim naponomolikog iznosa da namotom poteče nazivna struja.

Mjerenjima u pokusu kratkog spoja iz podataka o impedanciji kratkog spoja  $Z_k$ , dolazi se do podataka o ukupnoj rasipnoj reaktanciji  $X_k$  te o ukupnim gubicima  $P_k$  transformatora koji su posljedica struje opterećenja.

Poznavanje iznosa ukupne rasipne reaktancije transformatora važno je za određivanje induktivne komponente napona kratkog spoja  $U_k$ . Napon kratkog spoja je reda veličine nekoliko postotaka nazivnog napona  $U_1$  i odgovarajuća struja magnetiziranja za taj mali napon je zanemariva pa možemo uzeti da sva struja, koja teče kroz primarni namot, teče i kroz sekundarni namot (naravno, reducirana recipročnom vrijednošću omjera broja zavoja).

## 66. Hlađenje transformatora – oznake i primjeri.

Dvije razine hlađenja – unutrašnje i vanjsko

Ovisno o vrsti, izolacijsko rashladno sredstvo može biti ulje, zrak ili kruto sredstvo.

Oznaka načina hlađenja transformatora sastoji se od 4 slova:

1. Rashladno sredstvo namota
2. Način hlađenja namota
3. Rashladno sredstvo vanjskog hlađenja
4. Način hlađenja za vanjsko hlađenje

Rashladno sredstvo:

O – mineralno ulje

L – sintetsko ulje,

G – plin,

W – voda,

A – zrak,

S – kruti materijali

Primjeri: ONAF – ulje-prirodno, zrak – prisilno, ONAN, OFAN...

Način hlađenja:

N – prirodno,

F – prisilno,

D – dirigrano.

## 67. Nabrojite uvjete paralelnog rada transformatora.

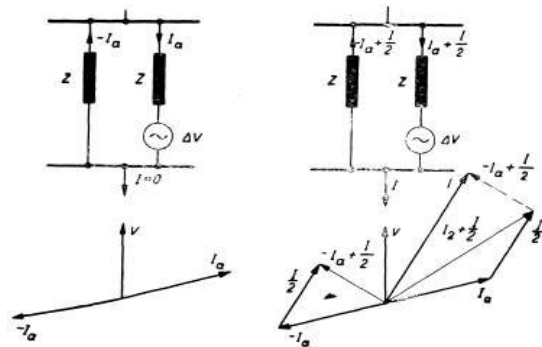
Uvjeti paralelnog rada:

- približno jednaki prijenosni omjeri
- približno jednaki nazivni naponi
- iste grupe spoja
- približno jednaki naponi kratkog spoja
- omjeri nazivnih snaga ne veci (3 : 1)

## 68. Objasnite: približno jednaki prijenosni omjeri:

Ako su prijenosni omjeri različiti (npr 30/10 i 30/10.5 kV) transformator s većim sekundarnim

naponom protjerat će struju izjednačenja kroz oba transformatora. Opterećenje na sekundaru poveća opterećenje jednog, a smanji opterećenje drugog transformatora – mogućnost opterećenja oba transformatora manja je od zbroja njihovih nazivnih snaga



pojašnjenje sheme – oba transformatora imaju istu impedanciju  $Z$  i kroz njih teče ista struja  $I_a$  i  $-I_a$  – struja izjednačenja. Javlja se jer na sekundarnoj strani postoji razlika potencijala (10,5 i 10 kV). Spajanjem opterećenja na njih poteče struja  $I$  koja se djeli ravnomjerno na svaki transformator. U crtavanjem te struje na graf vidimo da je

jedan transformator nazivno opterećen, dok je drugi opterećen sa manjom snagom.

## 69. Objasnite: približno jednaki nazivni naponi

Nazivni naponi ne moraju biti potpuno jednaki, glavno da su isti prijenosni omjeri (npr 30/10 i 31.5/10.5 kV). Ako je pogonski napon višenaponske strane jednak višem nazivnom naponu (31.5 kV) teći će nešto veća struja magnetiziranja kroz prvi transformator.

Transformator može izdržati pogon sa 5% većim naponom od nazivnog!!!

## 70. Objasnite: iste grupe spoja

Ako bi bili različitih grupa spoja paralelnim spajanjem zbog razlike u kutovima potekla bi velika struja izjednačenja. (Npr za 30° fazni pomak struja izjednačenja iznosi  $2.5 \cdot I_{\text{nazivno}}$ , problem se riješava zamjenom stezaljki transformatora-trafo se ponaša kao da je druge grupe spoja.

## 71. Objasnite: približno jednaki naponi kratkog spoja

Opterećenje među transformatorima s jednakim relativnim naponom kratkog spoja ( $u_{k1} = \dots = u_{kn}$ ) dijeli se proporcionalno nazivnim snagama transformatora, zbog čega je transformatore moguće opteretiti snagom koja odgovara zbroju nazivnih snaga pojedinih transformatora.

. Za razliku veću od 10% aritmetičke sredine paralelno spajanje nije ekonomski opravdano jer nije moguće nazivno opteretiti transformatore i potpuno ih iskoristiti.

— ako relativni naponi kratkog spoja nisu jednaki:

• maksimalno dopušteno opterećenja grupe:

$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2 = \dots = I_n Z_n$$

$$Z_i = \frac{u_{ki}}{100} \cdot \frac{U_n}{S_{ni}} \quad i=1, \dots, n$$

$$I_i = \frac{S_{ni}}{\sqrt{3} U_n} \quad i=1, \dots, n$$

$$\frac{u_{k1}}{S_{n1}} \cdot S_1 = \frac{u_{k2}}{S_{n2}} \cdot S_2 = \dots = \frac{u_{kn}}{S_{nn}} \cdot S_n$$

$$S_{\max} = u_{k\min} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{S_{ni}}{u_{ki}} \quad \frac{S_i}{S_{ni}} = \frac{u_{ki}}{\sum_{j=1}^n \frac{S_{nj}}{u_{kj}}}$$

• tada je transformator s najmanjim relativnim naponom kratkog spoja nazivno opterećen

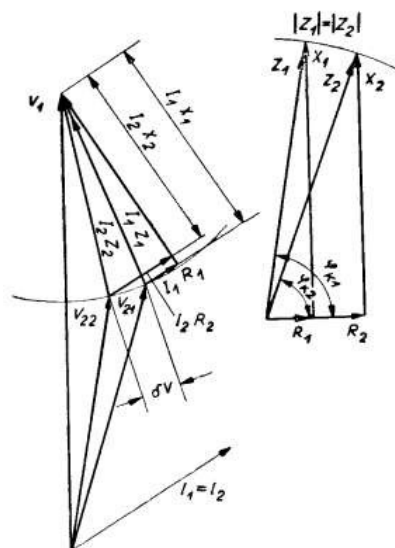
• gornji izraz vrijedi i sasvim općenito za neko opterećenje  $S \leq S_{\max}$  na sekundarnoj strani

## 72. Objasnite: omjere nazivnih snaga (ne veće od 3:1)

Transformatori približno jednakih nazivnih snaga imaju jednak omjer R/X (osigurava jednakost padova napona po iznosu i fazi u svim transformatorima). Razlika u tom omjeru uzrokuje pojavu struje izjednačenja.

Prikaz (na slici) transformatori – iste nazivne snage, isti relativni naponi kratkog spoja, različit omjer R/X

-> javljaju se različiti naponi na sekundaru  $V_{21}$  i  $V_{22}$  koji potjeraju struju izjednačenja.



## 73. Mjerni transformatori. Koje su standardne nazivne vrijednosti sekundara SMT i NMT?

Pružaju mogućnost mjerenja pogonskih napona i struja (direktno mjerenje pogonskih vrijednosti poskupljuje instrumente zbog visokih napona – izolacija i struja – presjeci vodiča i sile). Smanjuju vrijednosti pogonskih napona i struja na standardne vrijednosti za mjerenje – napone do 100 V, a struje do 5 A, odnosno 1 A ako je instrument daleko od transformatora kako bi se smanjili gubici u vodovima:  $P = I^2 \cdot R$ , pa je potreban manji presjek vodova u sekundarnom krugu.

## 74. Definirajte klase točnosti SMT i NMT i napišite izraze prema kojima se računaju.

### SMT:

- odgovara najvećoj dopuštenoj strujnoj pogrešci pri nazivnoj struji i nazivnom opterećenju

$$\Delta i = \frac{K \cdot I_2 - I_1}{I_1}, \quad K = \text{prijenosni omjer}, \quad I_2 \text{ i } I_1 - \text{apsolutne vrijednosti primarne i sekundarne struje}$$

Razlikujemo klase točnosti: 0,1    0,2    0,5    1    3    5

klasa točnosti znači strujnu pogrešku  $\Delta i \pm \dots$  pri  $I_n$  i  $Z_n$

Kad bi K bio jednak prijenosnom omjeru  $N_2 / N_1$ , tad bi strujna pogreška bila stalno negativna (jer se  $I_1$  smanjuje za  $I_0$  – struju magnetiziranja), stoga K je veći od  $N_1/N_2$  – sekundar ima manje zavoja, i može se postići pogreška 0!

### NMT:

Klasa točnosti je maksimalna naponska pogreška kad je primarni napon u granicama 0.8 – 1.1 Unazivno. Definirane klase točnosti, sa dozvoljenim kutnim pogreškama:

0.1 / 5'    0.2 / 10'    0.5 / 20'    1 / 40'    3 / bez definirane kut.p.



## 75. Osnovni podaci SMT i izvedbe.

### Osnovni podaci (karakteristike)

- prijenosni omjer
- strujna pogreška
- kutna pogreška
- klasa točnosti
- strujni višekratnik
- nazivni teret ili nazivna snaga transformatora

#### Zamkasti

- primarni namot se namata kroz dva provodna izolatora
- zbog velikih mehaničkih naprezanja unutar zamke pri kratkom spoju, provodni se izolatori pojačavaju metalnom konstrukcijom na glavama i sredini
- ugrađuju se tamo gdje je nepovoljna štapna izvedba radi malih primarnih struja ili gdje je potrebna mogućnost prespajanja na primarnoj strani (moguće je izvesti, ali je složeno zbog ulaza na jednoj a izlaza namota na drugoj strani)
- može se montirati u bilo kojem položaju
- izvodi se za nazivne napone do 35 kV

#### Štapni

- primarni namot ima jedan vodič
- koriste se gdje god je to moguće s obzirom na veličinu primarne struje jer imaju gotovo beskonačno veliku dinamičku graničnu struju
- za male primarne struje štapni SMT ima i malo amperzavoja ( $n_1=1$ ), pa su nepovoljni ako je potrebna veća nazivna snaga

$$P_2 = 4.44 \cdot I_1 \cdot B \cdot f \cdot q \cdot n_1$$

- normalno se izvode za primarne nazivne struje od 100A i više
- mogu se prespajati samo sekundarno
- mogu se ugraditi u bilo kojem položaju
- normalno se izvode za napone do 35 kV

#### Malouljni

- oba izvoda prolaze paralelno kroz zajednički izolator
- za napone do 35 kV izvedba sa metalnim kotlom
  - za napone 60 kV i više, namoti i jezgra nalaze se u izolatoru
  - novije izvedbe - namoti i jezgra nalaze se u kotlu na dnu izolatora

#### Suhi

- porculanski izolator
- sekundarni namot sa željeznom jezgrom u poprečnoj rupi
- malih dimenzija
- može se montirati u bilo kojem položaju
- izrađuje se za nazivne napone do 35 kV
- samo za unutrašnju montažu

## 76. Objasnite pojmove: klasa točnosti i strujni višekratnik.

**KLASA TOČNOSTI** – odgovara maksimalnoj dopuštenoj strujnoj pogrešci SMT pri nazivnoj struji i nazivnom teretu (postoji i klasa točnosti za NMT – maksimalna dozvoljena naponska pogreška kad je primarni napon u granicama  $0,8 - 1,2 U_n$ )

klase točnosti – 0,1      0,2      0,5      1      3      5  
(kod naponskih su 0,1      0,2      0,5      1      3)

Klasa točnosti  $k_1=0,1$  znači da je dozvoljena strujna pogreška  $\Delta i \pm 0,1\%$  pri  $I_n$  i  $Z_n$

### **STRUJNI VIŠEKRAATNIK** –

- višekratnik nazivne primarne struje pri kojem je strujna pogreška 10%, uz nazivnu priključenu impedanciju na sekundaru ("naz. opterećenje") Definira ga apscisa točkeu kojoj nadstrujna karakteristika siječe pravac  $\Delta i = 10\%$

## Strujni višekratnik (n)

- njime je opisano "ponašanje" SMT-a pri primarnim strujama puno većim od nazivne vrijednosti,  $I_{1n}$

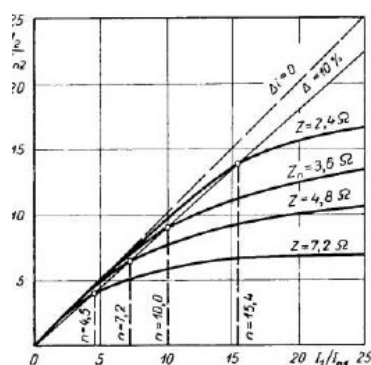


- povećanjem primarne struje, uz konstantnu impedanciju na sekundarnoj strani, raste pogreška SMT-a
- ako primarna struja toliko naraste da indukcija znatno prijeđe koljeno na krivulji magnetiziranja, porast sekundarne biti će proporcionalan s porastom primarne struje, jer će se tad transformator ponašati kao da željeza nema
- na slici je prikazana ovisnost relativne sekundarne struje ( $I_2/I_{2n}$ ) o relativnoj primarnoj struji ( $I_1/I_{1n}$ )

crtkani pravac prikazivao bi ovisnost relativnih struja kada ne bi bilo struje pogreške ( $\Delta i=0$ )

- strujni višekratnik ovisi o impedanciji priključenoj na sekundarnu stranu
- ukoliko na sekundarnu stranu nije priključena nazivna impedancija  $Z_n$ , već  $Z_1$ , novi strujni višekratnik,  $n_1$  iznosi:

$$n_1 \approx n \frac{Z_n}{Z_1}$$



na slici je prikazan utjecaj sekundarno priključenog tereta na strujni višekratnik SMT-a

- izborom SMT-a s malim strujnim višekratnikom štite se priključeni uređaji od prevelikih struja što je interesantno ukoliko je riječ o mjernim instrumentima ( $n < 5$ )
- ta je zaštita samo prividna ukoliko je impedancija priključenih instrumenata manja od nazivne impedancije SMT-a

- radi toga je potrebno ukoliko priključeni instrumenti nemaju dovoljno veliku impedanciju, u seriju s njima priključiti dodatnu impedanciju
- ukoliko se na sekundarnu stranu SMT-a priključuju zaštitni uređaji, radi njihova ispravnog djelovanja potreban je "vjeran" prijenos i velikih primarnih struja na sekundarnu stranu (npr. struje kvara u primarnom krugu)
- stoga se za zaštitne uređaje koriste SMT-ovi s strujnim višekratnikom:

$5 < n < 10$  nadstrujni i termički releji

$n > 10$  diferencijalni releji

$10 << n < 20$  distantni releji

## 77. Spajanje SMT?

primarni se namot spaja u seriju s potrošačima pa je na taj način struja kroz taj namot gotovo neovisna o teretu na sekundarnoj strani. Mogući spojevi SMT za mjerenje su u jednoj fazi, u dvije faze ili u sve tri faze. U svim slučajevima jedna od sekundarnih stezaljki, kao i metalno kućište spojena je na uzemljenje radi zaštite osoblja u slučaju spoja između primarnog i sekundarnog namota.

## 78. SMT u praznom hodu

Kako se primar SMT spaja u seriju s potrošačima kroz njega teče velika struja primara, koja, kad je on u praznom hodu, služi samo za magnetiziranje jezgre. Velika struja magnetiziranja ima za posljedicu veliku indukciju što uzrokuje velike gubitke u željezu (zagrijavanje jezgre, oštećenje limova i izolacije) te povišenje napona na stezaljkama (može ugroziti izolaciju transformatora i predstavlja opasnost za osoblje)

Kod energetskih transformatora struja magnetiziranja sadrži i više harmonike pa su napon e i tok fi sinusni, dok kod SMT struja magnetiziranja je sinusna te zbog petlje histereze u dijelu nagle

promjene toka dolazi do velikih promjena napona:  $e = -\frac{d\phi}{dt}$  i zbog toga sekundar ne smije biti u praznom hodu.

## 79. SMT u kratkom spoju

### Kratki spoj SMT-a

- nema nikakve opasnosti po SMT ako se njegove sekundarne stezaljke kratko spoje

$$\overline{Z} = 0$$

$$\overline{I}_2 = (\overline{I}_1 - \overline{I}_0) \frac{n_1}{n_2}$$

$$\overline{E}_2 = \overline{I}_2 \cdot \overline{Z}_2 = \frac{n_2}{n_1} \overline{I}_0 \overline{Z}_0 \Rightarrow \overline{I}_0 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{\overline{Z}_2}{\overline{Z}_0} \overline{I}_2$$

$$\text{uz } \overline{Z}_2 \downarrow \downarrow \Rightarrow \overline{I}_0 \downarrow \downarrow \Rightarrow \overline{I}_2 \cong \overline{I}_1 \frac{n_1}{n_2}$$

sekundarna struja ovisi samo o primarnoj struji (što je  $S_n$  prividna nazivna snaga SMT-a veća ovaj je izraz točniji)

- zaključak:** SMT je moguće ostaviti trajno u pogonu s kratko spojenim sekundarnim stezaljkama jer će pri tome struja na sekundarnoj strani biti tek neznatno veća od struje u normalnom pogonu uz priključenu impedanciju  $Z$

*KOMENTAR – na sekundar SMT se priključuje ampermetar čiji otpor je poželjan što bliži 0! ako sekundar SMT kratko spojimo otpor žice je tek neznatno manji od otpora ampermetra pa je sekundarna struja neznatno veća od normalne.*

## 82. Osnovni podaci NMT i izvedbe.

NMT – osnovni podaci – prijenosni omjer, naponska pogreška, klasa točnosti, kutna pogreška, nazivni teret (snaga) NMT-a

Način rada – “kao normalan energetska trafo”, primar se priključuje paralelno na “gotovo” konstantan napon (neovisan o priključenoj impenanciji), jedina razlika što je slabo opterećen radi smanjenja naponske pogreške; struja magnetiziranja ovisi samo o primarnom naponu

IZVEDBE:

- dvofazno izolirani – ima dva visokonaponska priključka
- jednofazno izolirani – ima samo jedan visokonaponski priključak (drugi je kraj visokonaponskog namota spojen s metalnim kudištem i uzemljen)
- u prvom slučaju mogu se mjeriti samo linijski naponi, dok u drugom i linijski i fazni naponi *oba tipa mogu se upotrijebiti za mjerenje u trofaznom sustavu i to spajanjem u slog naponskih transformatora*
- da bi se ostvario slog naponskih transformatora, potrebna su:  
dva dvofazno izolirana NMT-a ili tri jednofazno izolirana NMT-a

IZVEDBE:

- suhi – do 3 kV
- uljni/malouljni – do 35 kV (malouljni=manja opasnost od eksplozije i zapaljenja)
- s izolacijom od umjetnih smola – unutarnja montaža i naponi do 35 kV
- do 35 kV – i jednofazno i dvofazno izolirani
- iznad 35 kV – uporaba sloga tri jednofazno izolirana (jeftinije, manji troškovi izolacije)

## 83. Što su i čemu služe sabirnice? Izvedbe i profili. Čime je određen razmak među sabirničkim vodičima, a čime njihov presjek?

Sabirnice su vodiči na koje se spajaju vodovi i transformatori.

- “Okosnica” svakog postrojenja
- Povezuju vodove koji dovode i odvođe električnu energiju te transformatore koji povezuju mreže različitih naponskih razina
- Sabirnički vodiči su najčešće **neizolirani Cu** ili **Al** vodiči.
- Profili koji se uobičajeno koriste:
- srednji i niski napon: plosnati (pravokutni), okrugli i U profil
- visoki napon: cijevi i užad
- Razmak** među sabirničkim vodičima:
- određuju ga **naponska naprezanja**
- za niže naponske razine povoljno je izabrati još i veće razmake od navedenih kako bi se smanjila sila među vodičima

**Presjek** sabirničkih vodiča određuju **strujna naprezanja**:

- maksimalna struja u normalnom pogonu,  $I_{\text{maxpog}}$
- struja mjerodavna za ugrijavanje u vrijeme trajanja kratkog spoja,  $I_t$
- mehaničkim naprezanjima u vrijeme trajanja kratkog spoja,  $I_u$

#### 84. Ukratko opišite postupak dimenzioniranja sabirnica.

Dimenzioniranje sabirnica

##### (Razmak i presjek)

Izbor presjeka sabirničkih vodiča provodi se prema:

- maksimalna struja u normalnom pogonu,  $I_{\max\text{pog}}$  – maksimalna struja koja u normalnom pogonu teče kroz NAJOPTEREĆENIJI dio sabirnice, prema njoj se dimenzionira cijela sabirnica; dopušteno zagrijavanje  $30^\circ\text{C}$  iznad Tokoline
- struja mjerodavna za ugrijavanje u vrijeme trajanja kratkog spoja,  $I_t$
- mehaničkim naprezanjima u vrijeme trajanja kratkog spoja,  $I_u$

Kontrola presjeka sabirničkih vodiča s obzirom na zagrijavanje u vrijeme trajanja kratkog spoja,  $I_t$ :

–povišenje temperature sabirničkih vodiča nastaje brzo i stoga se može računati da se sva energija (*Jouleov* atoplina) troši na povišenje temperature vodiča (nema odvođenja topline u okolinu)

Za bakrene je sabirnice najveća dopuštena temperatura koju mogu postići vodiči  $Q_{2\text{Cu}}=200^\circ\text{C}$ , a za aluminijske vodiče  $Q_{2\text{Al}}=180^\circ\text{C}$

• ako je temperatura vodiča u normalnom pogonskom stanju  $30^\circ\text{C}$  veća od temperature okoline  $Q_{\text{ok}}=35^\circ\text{C}$ , onda je izraz za minimalno potreban presjek sabirničkih vodiča s obzirom na zagrijavanje u vrijeme trajanja kratkog spoja:

$$S_{\text{Cu}} \geq 7.5 \cdot I_t \cdot \sqrt{t} \text{ (mm}^2\text{)}$$

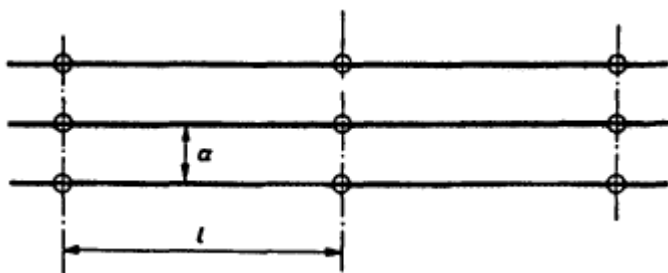
$$S_{\text{Al}} \geq 12.0 \cdot I_t \cdot \sqrt{t} \text{ (mm}^2\text{)}$$

pri čemu je vrijednost od  $I_t$  potrebno uvrstiti u kA, a trajanje kratkog spoja  $t$  u sekundama.

Kontrola presjeka sabirničkih vodiča s obzirom na mehanička naprezanja u slučaju kratkog spoja:

•Sile među paralelnim vodičima:

•sabirnice su goli vodiči na međusobnom razmaku  $a$  (međufazno), a nose ih potporni izolatori gdje je  $l$  međusobni razmak dvaju potpornih izolatora



•u slučaju kratkog spoja, struje koje teku vodičima su velikih vrijednosti zbog čega se javljaju velike sile na vodiče pojedinih faza koje ih nastoje mehanički deformirati

– maksimalna sila pojavljuje se u slučaju **trofaznog kratkog spoja na srednjem sabirničkom vodiču**, bez obzira što je možda struja za neku drugu vrstu kratkog spoja veća po vrijednosti za promatranu sabirnicu

##### **dimenzioniranje razmaka među sabirnicama**

$UN + I_u$  (nazivni napon + udarna struja k.s.)

#### 85. Nabrojite osnovne vrste izolatora i njihove uloge (potporni, viseći, provodni).

##### 1. Potporni Izolator

element postrojenja koji nosi sabirnice (i ostale neizolirane vodiče) u postrojenjima (i vodovima)

- izolira goli vodič od uzemljenih dijelova i preuzima na sebe sile koje djeluju na sabirnice
- izbor potpornih izolatora:
- nazivni napon sabirnica
- veličina sile koja se na njih prenosi pri kratkom spoju (mjerodavna je sila **Fp** koja djeluje na najviše opterećeni izolator)

Podjela:

Porculanski potporni izolatori:

- imaju kapu i podnožje od lijevanog željeza
- nemaju istu čvrstoću po cijeloj visini, stoga do pucanja može doći (kritična mjesta glede čvrstoće) neposredno ispod kape ili neposredno iznad podnožja

Umjetno smolni potporni izolatori:

- nemaju metalnu kapu niti podnožje
- konstrukcija im je takva da su jednake čvrstode i u gornjem i u donjem dijelu izolatora

## 2. Viseći (ovjesni) izolator

u postrojenjima u kojima su sabirnice izvedene od užeta, kao nosači sabirnice upotrebljavaju se viseći izolatori

–izvedba:

- a) kapasti
- b) masivni
- c) štapni

## 3. Provodni izolatori

Provodni izolatori izoliraju gole vodiče od zidova ili metalnih dijelova

•Upotrebljavaju se pri prolazu vodiča iz prostorije u prostoriju, iz jednog dijela oklopljenog rasklopnog postrojenja u drugi, ili iz rasklopnog postrojenja u slobodan prostor

•Izbor provodnih izolatora:

–nazivni napon

–maksimalna trajna struja u normalnom pogonu

–mehaničko naprezanje za vrijeme trajanja kratkog spoja

–zagrijavanje za vrijeme trajanja kratkog spoja

•Izvedba: – za nazivne struje: 200, 400, 600, 1000, 1500 i 2000 A

•Kontrola provodnih izolatora s obzirom na zagrijavanje za vrijeme trajanja kratkog spoja provodi se na jednak način kao i za sabirnice

•Za veće struje koriste se provodni izolatori s vodičima plosnatog presjeka

## 86. Koja je uloga rastavljača? Kako se vrši izbor rastavljača?

Rastavljači **vidljivo odvajaju** vodljive dijelove postrojenja (obično one pod naponom od onih koji nisu)

•Rastavljači se normalno **ne** upotrebljavaju za **prekidanje struja** (nemaju medij za gašenja električnog luka)

•Isklapanje i uklapanje rastavljača provodi se kada njima **ne** teče struja

•Oni mogu trajno **voditi** nazivnu struju, a kratkotrajno i struju kratkog spoja

•**Iznimno** se rastavljači mogu koristiti za **prekidanje malih pogonskih struja**:

– struje praznog hoda transformatora nazivne snage (do par stotina kVA)

– struje opterećenja transformatora nazivne snage (do par desetaka kVA)

– kapacitivne struje zračnih vodova u praznom hodu (duljine do 20 km i nazivnog napona do 10 kV)

– pri tome je isklapanje potrebno provesti što je mogude brže (noževi takvih rastavljača se obično montiraju tako da su u uklopljenom stanju okomiti na površinu zemlje čime se pri isklapanju postiže bolji uzgon luka)

•Izbor rastavljača prema **nazivnom naponu i nazivnoj struji**

uz kontrolu odabranog rastavljača s obzirom na :

–mehanička naprezanja u vrijeme trajanja kratkog spoja ( $I_u$ )

–zagrijavanje za vrijeme trajanja kratkog spoja ( $I_t$ )

Izbor s obzirom na nazivnu struju:

•**maksimalna struja** kroz rastavljač u normalnom pogonu mjerodavna je za izbor rastavljača prema nazivnoj struji

•proizvodi se ograničen broj tipova rastavljača s obzirom na nazivnu struju (broj tipova je to manji što je viši nazivni napon rastavljača)

Kontrola s obzirom na :

• **mehanička naprezanja** koja su određena udarnom strujom

• **struja mjerodavna za ugrijavanje** (u tablici su navedene vrijednosti za trajanje kratkog spoja 1 sekundu – ako kratki spoja traje kraće/dulje od 1 sekunde onda je dozvoljena vrijednost struje mjerodavne za ugrijavanje:

$$I_t = \frac{I_t \text{ iz tablice}}{\sqrt{t_{ks}}}$$

• Ako se kontrolom ustanovi da odabrani rastavljač ne zadovoljava s obzirom na mehanička i termička naprezanja odabire se rastavljač veće nazivne struje.

## 87. Nabrojite glavne uređaje za prekidanje struje na visokom i srednjem naponu.

### Uređaji za prekidanje struje

Visoki i srednji napon:

–učinski osigurači

–prekidači, sklopke

–učinski rastavljači

### **88. Kako se prekida strujni krug pomoću učinskih osigurača? Usporedba s prekidačima.**

Učinski osigurači rade na principu taljenja posebno dimenzioniranih vodiča – rastalnica. Postoji jedna glavna rastalnica i više pomoćnih koje se tale tek kad se rastali glavna. Struja svojim termičkim djelovanjem zagrijava rastalnicu tako da razlikujemo dva granična slučaja – normalni pogon, kad sva toplina odlazi u okolinu i taljenje osigurača. Sastoji se od rastalnica, porculanske cijevi ispunjene kremenim pijeskom, metalnih kapica – kontakata, opruga i udarne igle.

Prekidači služe također za isklapanje struja kratkog spoja, ali ih može i uklapati. Također služi za sklapanje/isklapanje struja normalnog pogona te se od njega može tražiti i automatsko ponovno uklapanje, sklapanje neopterećenih vodova, isklapanje neopterećenih transformatora, sklapanje prigušnica itd.

### **89. Kratko objasnite događaje u učinskim pretvaračima ovisno o gustoći struje koja njima teče?**

1. Slučaj - jako velika gustoća struje – više od 10 000 A/mm<sup>2</sup> – rastalnica će se trenutno rastaliti po čitavoj duljini i ispariti, što uzrokuje naglo povećanje otpora te rezultira naglim smanjenjem struje. Naglo smanjenje struje ima za posljedicu znatno povišenje napona  $e = L \cdot di/dt$ ,  $L$  = induktivitet mreže
2. slučaj – gustoća struje od 1000 do 10 000 A /mm<sup>2</sup> – rastalnica se ne topi po cijeloj duljini nego mjestimično i formiraju se kapljice rastaljenog metala između kojih nastaju el. lukovi. Kapljice tek djelomično isparavaju, ostatak pada u pijesak koji hlađenjem gasi luk i uzrokuje prenapone
3. Slučaj – gustoća struje manja od 1000 A/mm<sup>2</sup> – rastalnica se tali na djelovima gdje je manji presjek – nastaju električni lukovi koji dalje tale rastalnicu. Raste otpor rastalnice i smanjuje se struja. Pijesak hladi lukove i nema naglog pada struje i prenaponi su manji.

### **90. Objasnite ulogu stupnjevitog presjeka rastalnice u učinskim prekidačima?**

Stupnjeviti se presjek izvodi da bi se smanjili opasni prenaponi koji nastaju zbog taljenja rastalnice (npr. presjek rastalnice raste od sredine prema krajevima). To produljuje vrijeme trajanja luka (prekidanja struje) što uzrokuje povišenje energije koju je potrebno pretvoriti u toplinu. Struja opada polaganije nego da se stvorio luk po cijeloj duljini rastalnice.

### **91. Osnovna uloga prekidača. Koji su dodatni zahtjevi za prekidače?**

Osnovna uloga je uklapanje/isklapanje struja u normalnom pogonu i struja kratkog spoja. U određenim situacijama od njih se zahtijeva automatsko ponovno uklapanje (za prolazne kvarove), sklapanje neopterećenih vodova, isklapanje neopterećenih transformatora, sklapanje prigušnica, visokonaponskih asinkronih motora, kondenzatorskih baterija te sklapanje "bliskog kratkog spoja" kod kojih nastaju velika naponska naprezanja.

### **92. Razlika u gašenju luka u istosmjernim i izmjeničnim krugovima?**

U izmjeničnim strujnim krugovima struja je sinusnog oblika pa njen iznos periodički prolazi kroz nulu. Električni luk se gasi u trenutku prolaska struje kroz nulu te je potrebno spriječiti njegovo ponovno paljenje (osiguravanjem velike dielektrične čvrstoće između kontakata).

U istosmjernim krugovima struja nikad iznosom ne prolazi kroz nulu pa je potrebno struju prisilno natjerati da dođe na vrijednost nula (npr. povećanjem otpora luka), odnosno da se smanji na vrijednost potreban za održavanje stabilnog luka.

### **93. Na koje se sve načine može povećati otpor luka u prekidačima?**

Povećanjem duljine luka, smanjenjem presjeka luka, hlađenje luka i razbijanje luka na više parcijalnih dijelova. Također povećanje tlaka medija u kojem se luk nalazi utječe na njegov otpor.

### **94. Kako se sprečava ponovno paljenje luka u prekidačima?**

Ponovno paljenje luka nastaje zbog

1. termičkog proboja – ionizacije medija pa je potrebno provesti brzu deionizaciju, a to se radi hlađenjem međukontaktnog prostora.
2. Dielektričnog proboja – nakon uspješnog prekidanja luka povratni napon dostigne takvu vrijednost da dođe do dielektričnog proboja među kontaktima

### **95. Prednosti zračnih prekidača. Gdje se pretežito koriste?**

Zrak je "jeftin" i dostupan medij, uz relativno dobra izolacijska svojstva. Koriste se samo na srednjem naponu gdje se ponovno paljenje luka sprečava hlađenjem. Na visokom naponu se NE koriste jer su potrebne velike komore za gašenje zbog male dielektrične čvrstoće zraka.



**96. Uloga ulja u uljnim i malouljnim prekidačima – razlika. Prednosti ulja.**

Ulje se u uljnim prekidačima koristi kao izolator i kao medij za gašenje luka, dok se u malouljnim prekidačima koristi samo za gašenje luka, dok je izolacija prema masi od nekog drugog materijala. Prednosti ulja su velika dielektrična čvrstoća (raste s porastom tlaka), velika toplinska vodljivost (doprinosi hlađenju luka) i velika brzina difuzije (nosioci naboja prodiru okolni neutralni plin).

**97. Koji se medij koristi za gašenje luka kod pneumatskih prekidača? Prednosti tog medija.**

Za gašenje se koristi komprimirani zrak koji struji uzdužno i poprečno na luk te ga hladi, a ujedno i dovodi svježi medij čime sprečava ponovo paljenje. Stlačeni zrak ima bolja dielektrična i toplinska svojstva od onog pod atmosferskih tlakom – veća gustoća = brža rekombinacija iona = brža deionizacija.

**98. Navedite osnovna svojstva SF<sub>6</sub> plina i SF<sub>6</sub> prekidača.**

SF<sub>6</sub> – sumpor-heksafluorid – ima veliku dielektričnu čvrstoću zbog velike gustoće plina, loša udarna ionizacija (ioni se ne mogu dovoljno ubrzati za daljnju ionizaciju), elektronegativnost (povećava dielektričnu čvrstoću i brzinu deionizacije) i ima dobru toplinsku vodljivost.

SF<sub>6</sub> prekidač – dobra dielektrična svojstva – radni tlak im je manji nego kod pneumatskih, plin se (zbog visoke cijene) ne ispušta u okolinu već se ponovo koristi.

**99. Kada ćemo ugraditi prigušnicu u seriju s prekidačem?**

Kada je potrebno ograničiti struju kratkog spoja na određenu (maksimalnu) vrijednost.

PITANJE JE NA MJESTU, ODGOVOR JE U ŠUMI...

**100. Da li je moguće ugraditi prekidač nazivnog napona Un u postrojenje sa nižim nazivnim naponom? Objasniti.**

Nazivnim naponom dan je podatak gornje granice napona za koju je prekidač dimenzioniran i on određuje dielektričnu čvrstoću izolatora koji se u prekidaču koristi. Kako prekidači uklapaju i isklapaju struje svih razina, upotreba prekidača sa većim Un značit će samo da prekidač ima bolju izolaciju nego oni dimenzionirani za tu razinu.

**101. Svojstva vakuuma. Koji su nosioci električnog luka kod vakuumskih prekidača?**

Vakuum – svaki medij sa tlakom manjim od atmosferskog; ima veliku probojnu čvrstoću (10x veću od zraka i 3,5x veću od SF<sub>6</sub>); mali broj sudara molekula plina i elektrona te ne nastaje dovoljan broj nosioca naboja. Glavni nosioci su elektroni koji nastaju isparavanjem materijala s katode zbog visoke temperature i električnog polja.

**102. Što su to učinski rastavljači?**

Učinski rastavljači po izvedbi su rastavljači a po djelovanju prekidači (mogu sklapati manje struje sklopke). U otvorenom položaju imaju rastavni razmak kao i rastavljači, mogu kratko vrijeme voditi i struje kratkog spoja, ali ih ne mogu prekidati.

**103. Nabrojite glavne uređaje za prekidanje struje na niskom naponu. Koja je njihova namjena?**

Uređaji za prekidanje struje na niskom naponu su osigurači, sklopnici (motorne sklopke), niskonaponski prekidači i niskonaponske sklopke i zaštitne sklopke. Namjena im je zaštita (od preopterećenja, kratkog spoja, indirektnog dodira), izolacija (odvajanje) i sklapanje u normalnim i izvanrednim prilikama.

**104. Podijela sklopki prema primjeni?**

- zaštitne sklopke - zaštita od nedopustivih termičkih i mehaničkih naprezanja kod nedopustivih iznosa struje, napona pogreške i podnapona
- upravljačke sklopke - ovisno o ulozi u tehnološkom procesu uklapaju i prekidaju strujne krugove
- rastavne sklopke - rastavljanje strujnog kruga s vidljivim položajem kontakata ili pokazivačem sklopnog položaja
- komandne sklopke - uklapaju pomodne strujne krugove (npr. releji)

### 105. Podijela osigurača prema funkcionalnim razredima?

Funkcionalni razredi određuju se prema strujno-vremenskoj karakteristici i određuju u kojem se strujnom području rastalni uložak mora rastopiti.

Funkcionalni razredi:

- **g** – osigurači za opću ("general") upotrebu – štite od kratkog spoja i preopterećenja, trajno vodi struje od najmanje do najveće i može isključiti struje od najmanje struje aktiviranja do prekidne moći
- **a** – osigurači za određena područja – namjenjen samo zaštiti od kratkog spoja, trajno vodi struje od najmanje do nazivne, može isključiti struje veće od određenog višekratnika svoje nazivne struje

### 106. Podijela osigurača prema izvedbi?

- visokoučinski (NH, NVO) – prekidanje velikih struja preopterećenja i kratkog spoja u NN mrežama (razdjelne i industrijske). Nazivni napon = najmanji napon djelova, nazivni napon umetka < nazivnog napona osnove. Rastalna karakteristika = tromobrza  
Ograničavaju struju kratkog spoja u porastu (prije maksimuma), ne moraju biti zaštićeni od dodira djelova pod naponom, prekidne moći do 120 kA
- instalacijski (NEOZED, DIAZED – doma) – Karakteristike mogu biti superbrze, brze, sporo-brze i spore.

### 107. Nabrojite osnovne dijelove visokoučinskih osigurača. Tko njima manipulira?

Osnovni dijelovi su: osnova s nožastim kontaktima, topljivi umetak, izolacijska ručka i indikator pregaranja. Zbog toga što su oni ne moraju biti zaštićeni od dodira djelova pod naponom njima manipulira isključivo osposobljena osoba.

### 108. Nabrojite osnovne dijelove instalacijskih osigurača. Koje izvedbe tih osigurača razlikujemo? Tko njima manipulira?

Osnovni dijelovi su – kapa, topljivi umetak, kalibarski prsten, zaštita od dodira djelova pod naponom i osnova osigurača. Izvedbe su DIAZED (imamo doma) – to su osigurači normalnih dimenzija, do 550 V (inozemstvo i 660V), i NEOZED – osigurači smanjenih dimenzija, do 380 V. Zbog izvedene zaštite od dodira dijelova pod naponom njima može rukovati svatko.

### 109. Koja je uloga kalibarskog prstena u osiguraču? Koja je nazivna struja ako na njemu vidimo plavu boju?

- kalibarski prsten - onemogućava umetanje osigurača veće prekidne moći nego li je predviđeno. Nazivne struje i odgovarajuće boje: 2 – ružičasta, 4 – smeđa, 6 – zelena, 10 – crvena, 16 – siva, **20 – PLAVA**, 25 – žuta, 35 – crna, 50 – bijela, 63 – bakrena, 80 – srebrna, 100 – crvena

### 110. Na koje se sve načine postižu efekti brzine u instalacijskim osiguračima?

Efekti brzine se postižu tehnološki zahvatima na rastalnicama: dimenzioniranjem uzdužnog i poprečnog presjeka rastalnice i legiranjem (spajanjem djelova rastalnice lemom s niskim talištem).

### 111. Gdje se ugrađuju instalacijski automatski prekidači? Koje su njihove osobine?

Ugrađuju se na mjestima gdje često dolazi do preopterećenja i kratkog spoja. Također ugrađuju se na mjestima gdje je struja kratkog spoja do 6 (25) kA.

Njihove osobine:

- Poslije prekidanja strujnog kruga ne treba mijenjati topljivi umetak.
- Mogu zamijeniti ulogu sklopke u strujnom krugu, premda to treba izbjegavati.
- Manja im je prekidna moć od osigurača.
- Skuplji su od osigurača, ali u prilikama s puno prekidanja su isplativiji

### 112. Osnovna namjena NN prekidača?

Osnovna namjena im je zaštita od struja kratkog spoja, a mogu se koristiti i kao zaštita od preopterećenja. Mogu se opremiti podnaponskim modulom pa djeluju pri pojavi struje greške.

### 113. Pridruženi članovi NN prekidača?

Okidač – služi za otvaranje kontakata i prekidanje strujnog kruga, izvedbe – elektromagnetski (struje ks), termički (preopterećenje), elektronički (mogućnost podešavanja struja kratkog spoja i preopterećenja) i ručni pogon.

Releji – zasebni sklopni aparat koji reagira na razne fizikalne veličine (struja, napon, temperatura, vrijeme...). Aktiviran omogućava upravljanje daljnjim uređajima. Izvedbe – mehanički, elektronički, digitalni. Okidač djeluje izravno i reagira isključivo na električne veličine, a relej djeluje preko pomoćnog strujnog kruga i reagira na fizikalne veličine.

#### 114. Kada se koristi kombinacija prekidač + osigurač?

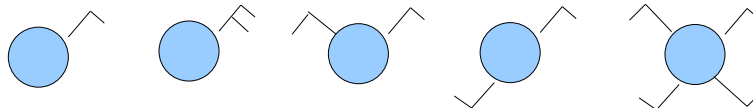
Ako su struje kratkog spoja veće od rasklopne struje prekidača, osigurač prekida struje kratkog spoja veće od prekidne moći prekidača. Zaštita od preopterećenja – termički okidač, elektromagnetski okidač – struje kratkog spoja do rasklopne struje, osigurač – struje kratkog spoja veće od rasklopne struje prekidača.

#### 115. Vrste sklopki (rastavna, teretna, sklopnik, motorska, zaštitna, instalacijska) .

- **Rastavna sklopka** – može trajno voditi nazivnu struju, kratkotrajno struju kratkog spoja, uklapa struje znatno manje od nazivne, pogonsko stanje mora biti vidljivo i pogon je ručni
- **teretna sklopka** – trajno vodi nazivnu struju, kratkotrajno struju k.s., uklapa/isklapa struje do  $3 I_n$ , ima komoru za gašenje luka, pogon ručni (moguće i automatizirani)
- **sklopnik** – trajno vodi nazivnu struju, kratkotrajno struju k.s., uklapa/isklapa struje do  $k \cdot I_n$ , (najčešće  $k=10$ ), prigraden termički okidač (zaštita od k.s.), može se prigraditi i elektromagnetski okidač, osnova daljinskog upravljanja u NN mrežama, njime se upravlja tipkalima ili teretnim sklopkama, on impulse na malim naponima i strujama prenosi na aparate kojim se prekidaju velike struje
- **motorska sklopka** – vrsta teretne sklopke prilagođena elektromotornim pogonima, uklapa i isklapa struje pokretanja motora (5-8 puta veće od  $I_n$ ), najčešće imaju termički i elektromagnetski okidač, uljno ili zračno gašenje luka, izvedba – spoj teretne sklopke i sklopnika
- **zaštitna sklopka** – zaštita od previsokog napona dodira (strujna i naponska zaštitna sklopka)
- **instalacijske sklopke** – sklapanje u kućanstvima, naponi do 500 V, struje 2, 4, 6, 10, 16 i 25 A; sklapaju struje do  $I_n$ ,

#### 116. Vrste instalacijskih sklopki, nacrtati jednu od njih.

Izvedbe: jednopolne (sklapa grupu trošila s jednog mjesta), dvopolne (sklapa oba voda koja idu na grupu trošila), grupna (moguće sklapanje dvije grupe trošila), izmjenična (sklapanje jednog trošila s dva mjesta - hodnik), križna (u kombinaciji između izmjeničnih sklapa trošilo s tri ili više mjesta)



#### SEKUNDARNI SUSTAVI:

#### 117. Što sve podrazumijevamo pod pojmom 'sekundarni sustavi'?

Podrazumijevamo: **signalizaciju** (svjetlosna, zvučna, ...), **mjerenje** (pogonsko, obračunsko), **upravljanje** (upravljanje aparatima, blokade), **regulaciju i lokalnu automatiku** (transformator), **zaštitu** (transformatora i vodova) i **nadzor** (transformatora, prekidača, EES).

#### 118. Signalizacija i mjerenja.

Signalizacija - svjetlosna, zvučna, ekranska; lokalna/daljinska, služi za signaliziranje pogonskih stanja, kvarova

Mjerenja – pogonska (energetska) – u funkciji su vođenja EES, tj. Samog objekta i prikazuje se na svim razinama,

- obračunska mjerenja – u funkciji obračuna električne energije, nisu izravno uključena u sustav nadzora i upravljanja, već su uključeni u sustav za prikupljanje, daljinski prijenos i obradu obračunskih i energetske podataka u prijenosnoj mreži HEP-a

#### 119. Upravljanje.

Razine organizacije hijerarhijski (najveći prioritet ima najniža razina), procesni podaci na razini objekta raspoloživi su za daljinsko upravljanje u nadležnom centru, a povezani su preko dva komunikacijska puta.

BLOKADE su dio upravljanja, uzdužne i poprečne blokade na razini polja ili cijelog objekta rješavaju se programski i/ili ožičenjem; sve komande u normalnom pogonu prije izvršenja moraju se podvrgnuti provjeri zadovoljenja zadanih blokada, dok u izvanrednim prilikama neposredno upravljanje aparatima ne provjerava blokade.

#### 120. Nabrojite nekoliko pomoćnih strujnih krugova i uređaja.

Komunikacijski sustav, razvodi istosmjernog i izmjeničnog napona, pomoćni strujni krugovi aparata; uređaji – akumulatorska baterija, izvori izmjeničnog napona (transformatori, DC/AC pretvrači...), ...

### **121. Hijerarhijske razine upravljanja**

Upravljanje – hijerarhijski organizirano, s principom subordinacije (u istom trenutku nadležnost za upravljanje može biti dodijeljena samo jednoj razini). Najviši prioritet ima najniža razina (niža razina uvijek može uzet prioritet višoj!). Svi procesni podaci na razini objekta dostupni su i raspoloživi za daljinsko upravljanje u nadređenom centru. Postrojenje se s centrom povezuje preko dva komunikacijska kanala (izbor puta je automatski).

### **122. Izvedbe i uloge blokada**

Blokade su sastavni dio upravljanja. **Uzdužne i poprečne blokade bilo na razini polja ili cijelog objekta rješavaju se ožičenjem i/ili programski.** Pri tome treba biti omogućeno da se u izvanrednim pogonskim uvjetima, uz prethodnu autorizaciju pristupa, neposredno upravljanje aparatima provede bez prethodne provjere zadovoljenja uvjeta blokade. Opće je pravilo da se sve izdane komande na svim razinama i upravljačkim mjestima u normalnom pogonu moraju prije izvršenja podvrgnuti provjeri zadovoljenja svih unaprijed zadanih uvjeta blokada.

### **Sheme spoja**

#### **123. Što sve obuhvaća shema spoja postrojenja?**

Obuhvaća sheme spoja glavnih strujnih krugova u kojoj se prikazuju:

- broj transformatora, broj generatora i broj odvoda te način njihova međusobnog spoja
- predviđene aparate u svakom odvodu
- predviđena mjerenja i zaštitu
- predviđenu signalizaciju i upravljanje

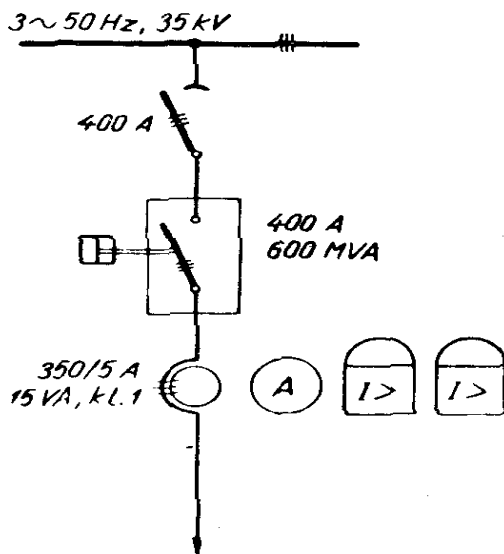
Obuhvaća sheme spoja glavnog strujnog kruga, strujnog kruga mjerenja i zaštite i pomoćni strujni krug

#### **124. Koje strujne krugove možemo razlikovati u postrojenju?**

U postrojenju razlikujemo:

- glavni strujni krug – protjecan strujom tereta
- strujni krug mjerenja i zaštite – spojen na sekundar mjernih transformatora
- pomoćni strujni krug – napajan iz posebnog (istosmjernog ili izmjeničnog) izvora

#### **125. Jednofazna shema**



- prikazani su samo glavni strujni krugovi

- shematski su (bez spojeva) pored svakog odvoda prikazani mjerni i zaštitni uređaji

- navedene su glavne veličine karakteristične za pojedine aparate iz sheme



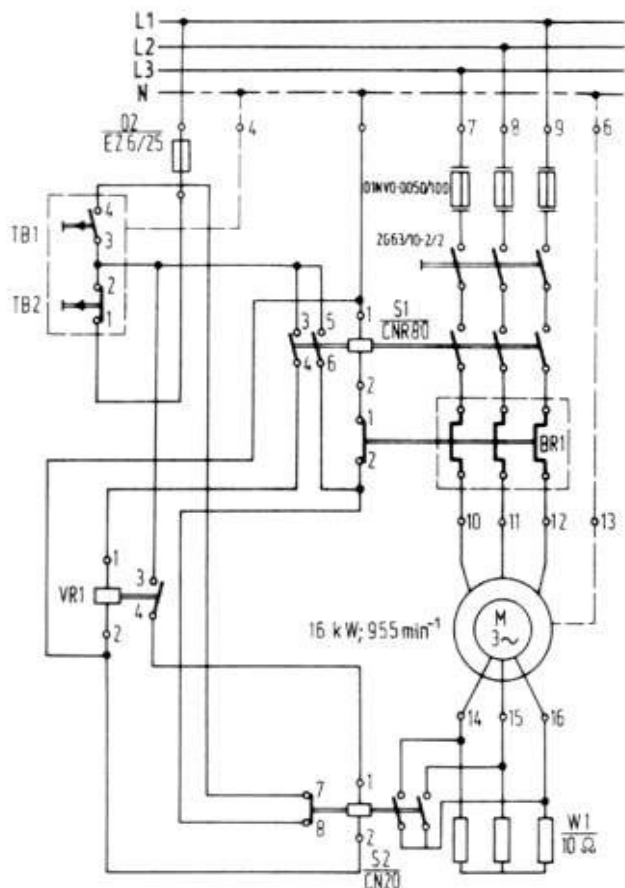
SUPD



- tropolni prikaz glavnog strujnog kruga, krugova mjerenja i zaštite te krugova signalizacije i upravljanja
- pri tome se **ne vodi računa** o stvarnom **prostornom rasporedu** aparata
- na slici radi preglednosti prikaza nisu prikazani krugovi upravljanja i signalizacije



## 128. Shema vezivanja



- uzima u obzir i prostorni smještaj aparata

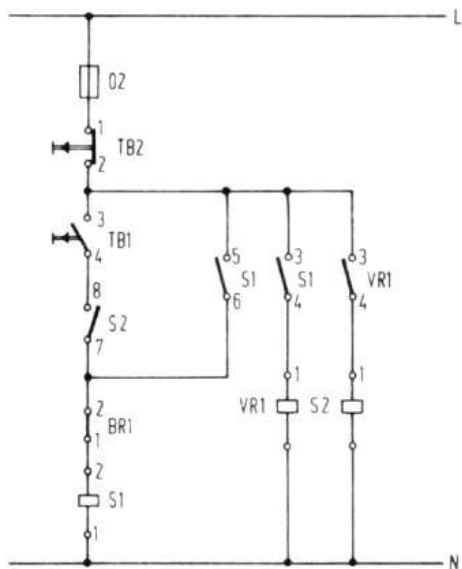
- prikazane su sve stezaljke na aparatima, redne stezaljke na koje se spajaju kabele i čije oznake moraju odgovarati oznakama u samom rasklopnom/razvodnom postrojenju

- to je **izvedbena shema** rasklopnog/razvodnog postrojenja

Primjer 3. – shema vezivanja

## 129. Strujna shema

Primjer 4. – strujna shema



- prikaz djelovanja pomodnih strujnih krugova zbog jednostavne i efikasne kontrole ispravnosti spoja

- ne prikazuje prostorni raspored aparata i kontakata

### **130. Osnovni kriteriji za izbor sheme glavnih strujnih krugova?**

Okolnosti koje utječu na izbor sheme glavnih strujnih krugova:

- **uloga i važnost postrojenja u mreži:**

potrebno je razmotriti utjecaj kvarova te radova (pregled i održavanje) na potrošače koji se iz njega napajaju

- **napon postrojenja:**

je li je rasklopno postrojenje u elektrani, prijenosnoj ili razdjelnoj mreži ili se radi o industrijskom postrojenju

- **broj i snaga transformatora**

- **broj i snaga priključenih vodova**

- **pogonski zahtjevi**

mogućnost odvojenog pogona dijelova postrojenja, tzv. pogonska elastičnost

- **moguća potreba proširenja postrojenja**

- **raspoloživost**

u nekim postrojenjima može se zahtijevati da se svi radovi (pregled, održavanje) obavljaju bez prekida pogona ili s prekidom pogona samo u dijelu postrojenja, odnosno samo u vrijeme nekih radova

ponekad se nastoje osigurati rezervni putovi napajanja potrošača u uvjetima kvara

to sve utječe na spoj i tip odabranih elementa u postrojenju

- **prilike za vrijeme kratkog spoja**

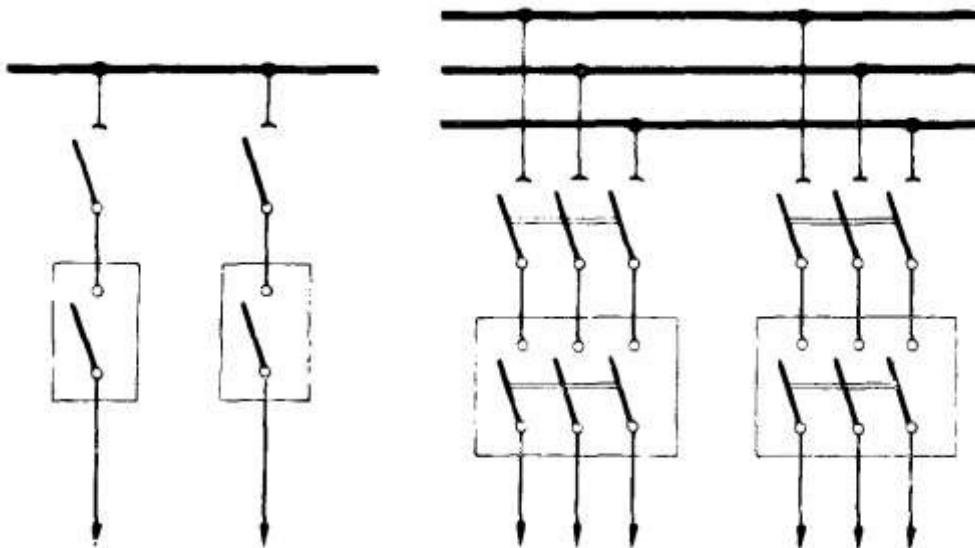
npr. u NN mrežama se poradi uporabe standardnih i jeftinijih sklopnih aparata ide na smanjivanje vrijednosti struje kratkog spoja

Kriteriji za izbor sheme glavnih strujnih krugova:

- ekonomičnost
- pouzdanost opskrbe (pojave kvarova)
- raspoloživost (u izvanrednim pogonskim prilikama poput održavanja, pregleda i kvarova u postrojenju)
- pogonska elastičnost
- jednostavnost (radi smanjenja vjerojatnosti krivih manipulacija i jednostavnijeg vođenja pogona)

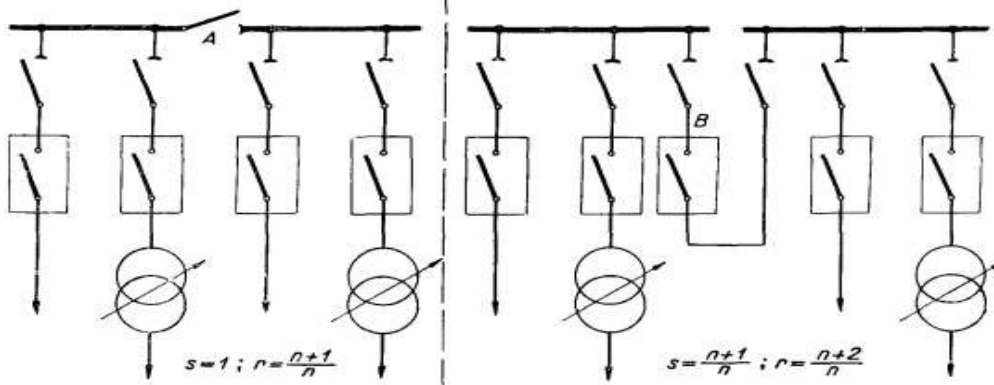
### **131. Sabirnice (jednostruke, dvostruke, pomoćne). Primjeri (npr. europska i američka izvedba dvostrukih sabirnica)**

**Jednostruke sabirnice:**



- koriste se u postrojenjima s malo odvoda
- svaki rad na sabirnicama (održavanje i pregled – čišćenje sabirnica, zamjena sumnjivih izolatora, pregled spojeva i sl.), kao i svaki kvar na sabirnicama zahtjeva obustavu pogona
- radovi u postrojenjima i kvarovi na sabirnicama nisu česti, stoga su jednostruke sabirnice odgovarajuće rješenja ako se u odvodima nalaze potrošači manje osjetljivi na prekinut napajanje
- napon svih odvoda je jednak

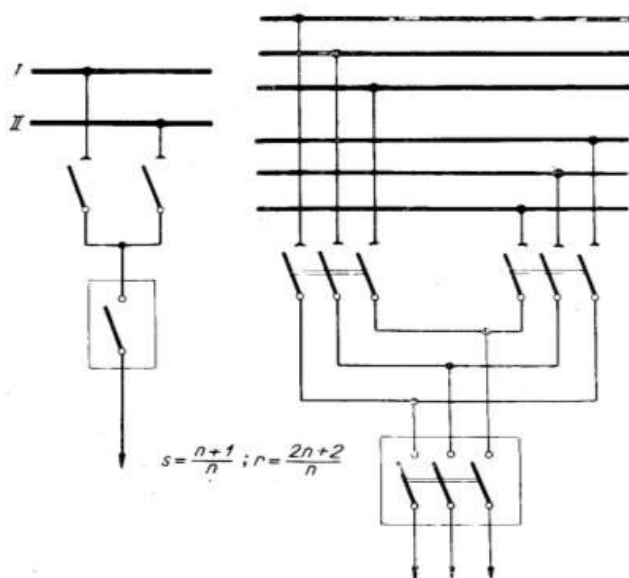
## Jednostruke sabirnice s uzdužnim rastavljačem:



- moguć je odvojen pogon pojedinih grupa potrošača preko posebnih transformatora odnosno generatora
- moguć je i pogon s različitim pogonskim naponima (koji se malo razlikuju od nazivnog sabirnice)
- nedostatak: grupiranje potrošača potrebno provesti u fazi izgra
- Kod sklapanja uzdužnog rastavljača svi odvodi barem jednog dijela postrojenja ostaju bez napajanja (uzdužnih prekidač rješava problem)

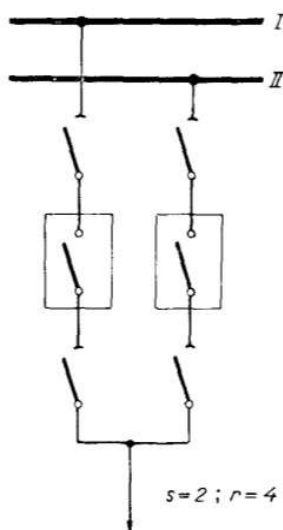
## Dvostruke sabirnice:

Prva moguća izvedba



- glavni razlozi uporabe dvostrukih sabirnica u postrojenjima su:
  - povedana elastičnost pogona
  - povedana pouzdanost pogona
- moguć je pregled, održavanje i kvar jednog sustava sabirnica bez prekida pogona na drugom sustavu
- svaki odvod se mora moći priključiti na jedne i druge sabirnice
- na slici je prikazana najjednostavnija izvedba, tzv. **europska izvedba** (najčešće se koristi u Hrvatskoj)
- u slučaju kvara na prekidaču nužna je obustava pogona u odvodu

Druga moguća izvedba



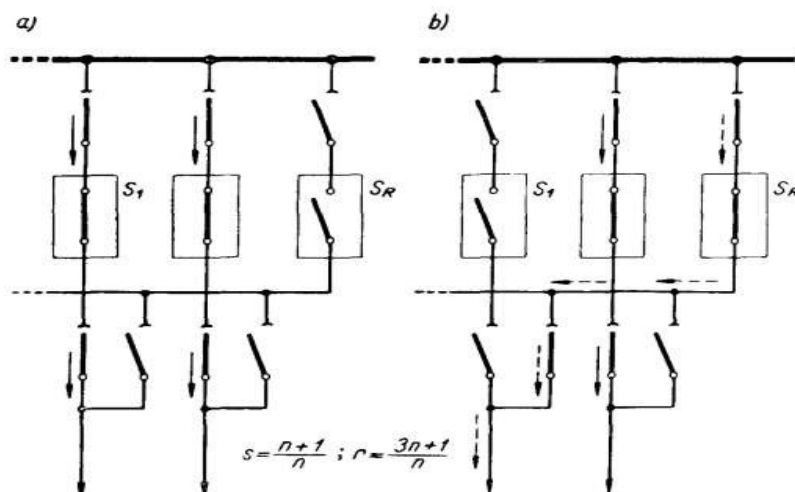
- **američka izvedba** odvoda omogućava uporabu samo rastavljača u odvodima transformatora priključenih na sabirnice
- pogon se normalno vodi sa svim prekidačima i rastavljačima uklopljenim
- u slučaju kvara na jednom transformatoru zaštita djeluje na isklapanje svi prekidača koji su spojeni na sabirnicu na koju je spojen i transformator u kvaru
- ako se transformator uklapa, prvo se uklapa njegov rastavljač, a potom prekidači koji su spojeni na sabirnicu transformatora

- ova izvedba je skuplja, ali povećava pouzdanost opskrbe u slučaju kvara na samom prekidaču u odvodu
- drugi rastavljač osigurava da prilikom popravka ili pregleda jednog prekidača on sam nije pod naponom, ako je pri tome ostvaren pogon odvoda preko drugog prekidača
- uporaba dva prekidača po odvodu (američka izvedba) dovodi do znatnog povećanja investicija što je vrlo rijetko opravdano, pogotovo ako se uzme u obzir pouzdanost modernih prekidača
- u nekim slučajevima, pogotovo u velikim industrijskim postrojenjima gdje je

radi osjetljivosti potrošača na prekid pogona potrebno osigurati veliku pouzdanost i elastičnost (odvojen pogon, pogon u uvjetima kvara i sl.) koriste se **trostruke** ili **četverostruke sabirnice**

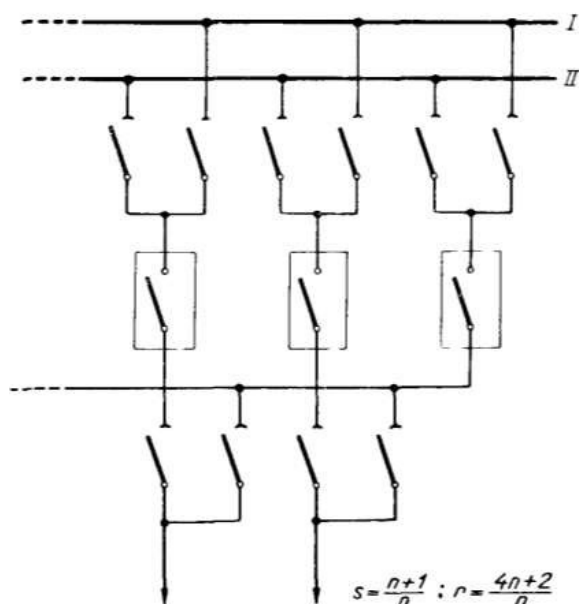
### Pomoćne sabirnice:

- postrojenje s jednostrukim sabirnicama:
  - slika a) prikazuje normalno pogonsko stanje – pomoćne sabirnice nisu u pogonu
  - slika b) prikazuje izvanredno pogonsko stanje – kvar na prekidaču S1



- pomoćne sabirnice se koriste za napajanje odvoda čiji je prekidač u kvaru
- pomoćne sabirnice mogu se na analogan način koristiti u slučaju kvara na prekidaču bilo kojeg odvoda

- postrojenje s dvostrukim sabirnicama:

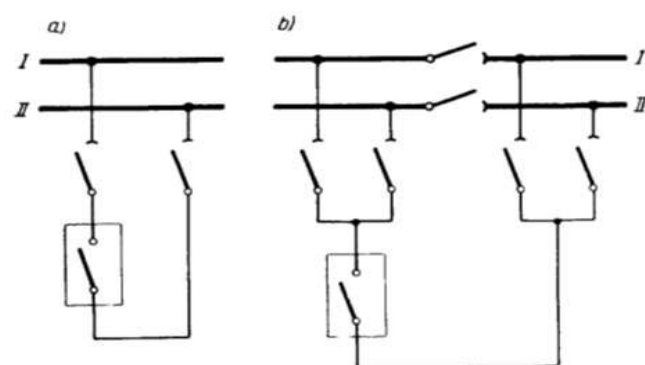


- ukoliko se radi o postrojenju s dvostrukim sabirnicama koje se koriste isključivo za odvojen pogon mogu se koristiti pomoćne sabirnice kako bi se ostvarila rezerva za prekidače u odvodima europske izvedbe

- pomoćne sabirnice se preko dva rastavljača i rezervnog prekidača mogu spojiti na oba sistema glavnih sabirnica

- u normalnom pogonskom stanju pomoćne sabirnice nisu u pogonu

### 132. Spojno polje



- spojno polje se koristi u postrojenjima s višestrukim sabirnicama u kojima je moguć zajednički pogon (međusobno spajanje) više sustava sabirnica

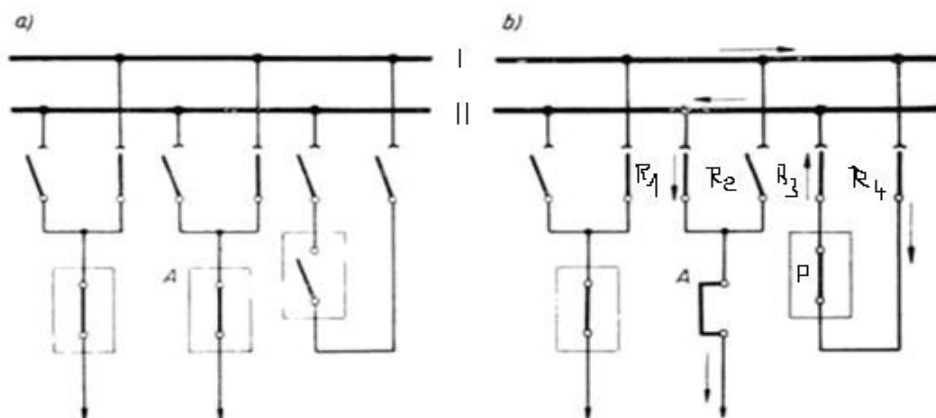
- njegova uporaba ima smisla samo u postrojenjima s jednim prekidačem po odvodu (europska izvedba) – u postrojenjima s dva prekidača po odvodu ulogu spojnog polja može preuzeti bilo koji od njih

- spojno polje se sastoji od dva rastavljača i prekidača (slika a)

- ukoliko su dvostruke sabirnice uzdužnim rastavljačima podijeljene na dva dijela (slika b), u spojnom polju treba predvidjeti po dva rastavljača sa svake strane prekidača – na taj su način moguće sve kombinacije spajanja dijelova sabirnica

### Spojno polje – primjer 1

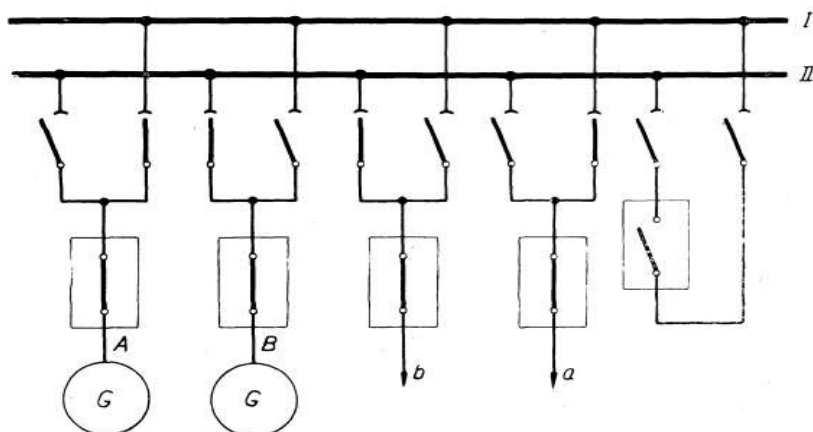
- na slici a) je prikazan položaj sklopnih aparata kada je prekidač A u kvaru uz pretpostavku da je u pogonu sabirnica I (sabirnica II nije u pogonu)



- prekidač A se privremeno zamjenjuje vodičem
- da bi se vratilo napajanje potrošačima u odvodu potrebno je spojno polje
- $R_2 \blacktriangleup$ ,  $R_1 \blacktriangledown$ ,  $R_3 \blacktriangledown$ ,  $R_4 \blacktriangledown$ ,  $P \blacktriangledown$
- odvod se napaja preko sabirnice II i spojnog polja (znači sabirnice II se ne mogu koristiti za odvojeni pogon)

### Spojno polje – primjer 2

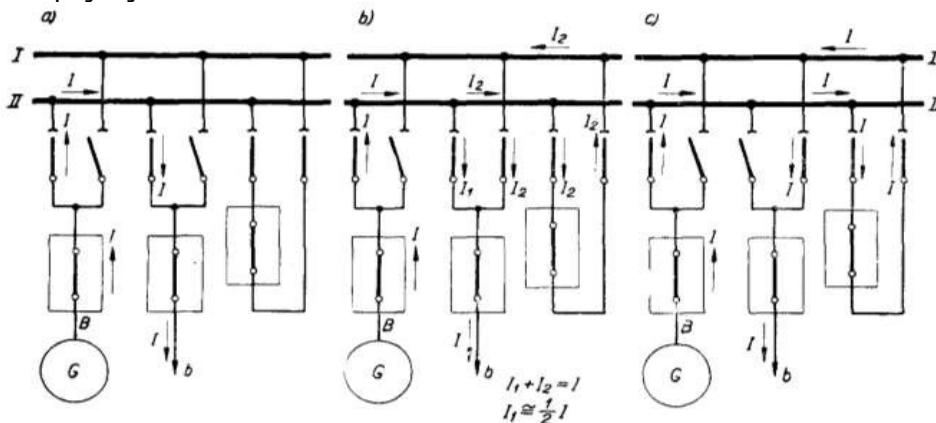
Spojni prekidač služi za paralelno spajanje generatora (u elektrani) ili dijelova elektroenergetskog sustava, koji u nekoj situaciji napajaju odvojena opskrba područja (odvojeni pogon)



u početnom stanju generatori GA i GB svaki preko svoje sabirnice napajaju svoju grupu potrošača (prikazani kao odvodi a i b)

- kada ne bi bilo spojnog polja, za uspostavu paralelnog rada generatora (npr. preko sabirnice I) morali bi se sinkronizirati generatori GA i GB, potom isključiti prekidači u odvodu generatora GB i potrošača b (*beznaponska pauza*), odgovarajuće uklopiti rastavljači, a onda i prekidači u odvodima

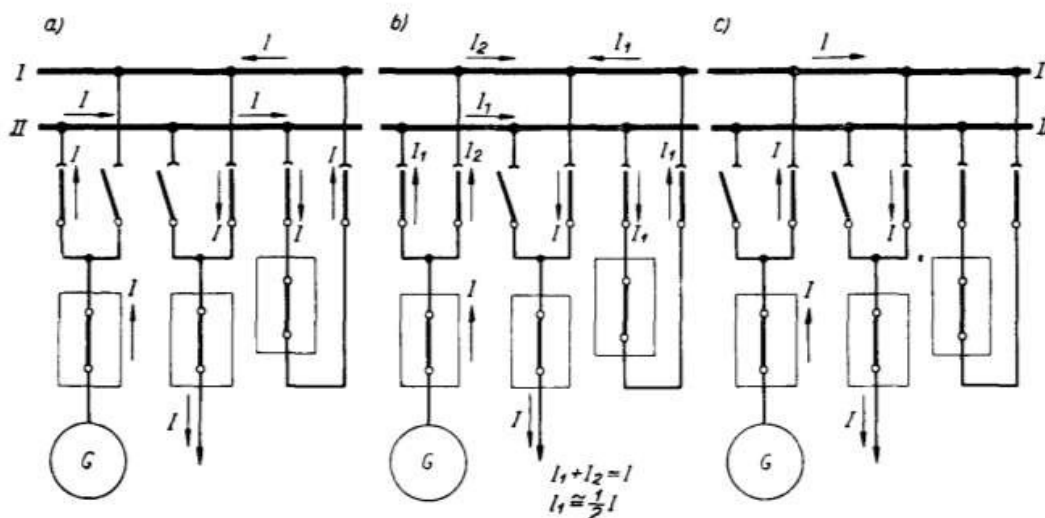
Prespajanje odvoda b sa sabirnice II na sabirnice I



- na slici a) je prikazano početno stanje (postignut je sinkronizam)

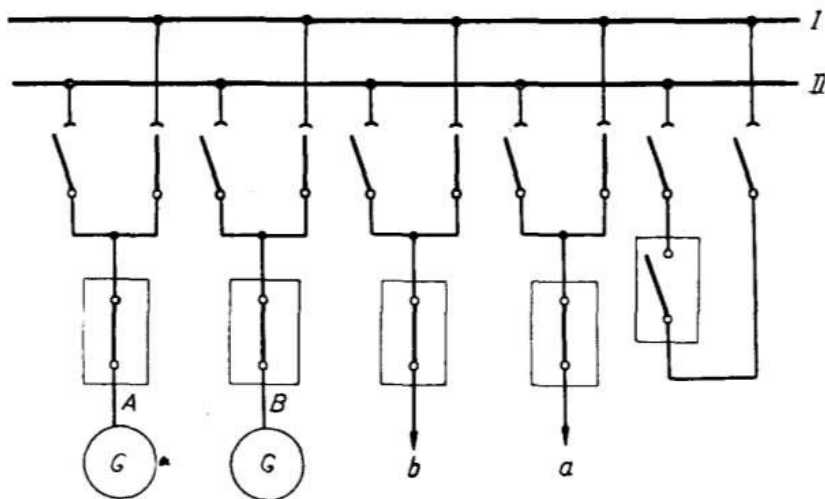
- budući su sabirnice spojene putem spojnog polja, moguće je uklopiti i drugi rastavljač odvoda (slika b)
- slika c, moguće je isključiti prvi rastavljač odvoda b budući neće doći do prekida strujnog kruga, pa time niti pojave luka među kontaktima rastavljača – sada se odvod b napaja iz generatora GB putem spojnog polja i sabirnice I

Prespajanje generatora GB sa sabirnice II na sabirnice I



- na slici a) je prikazano početno stanje (odvod b se napaja sa sabirnice I)
- budući su sabirnice spojene putem spojnog polja, moguće je uklopiti i drugi rastavljač odvoda GB (slika b)
- slika c, moguće je isključiti prvi rastavljač odvoda GB budući neće doći do prekida strujnog kruga, pa time niti pojave luka među kontaktima rastavljača – sada se odvod b napaja iz generatora GB putem sabirnice I

Konačno stanje: nakon prespajanja svih odvoda na sabirnice I moguće je isključiti prekidač, a potom i rastavljače spojnog polja



### 133. Primjeri VN rasklopnih postrojenja

Konjsko (Split), Ernestinovo (Osijek), Melina (Rijeka), Tumbri (Zagreb).....dalje ne znam a ni za ova nisam siguran

### 134. Sabirnički rastavljač

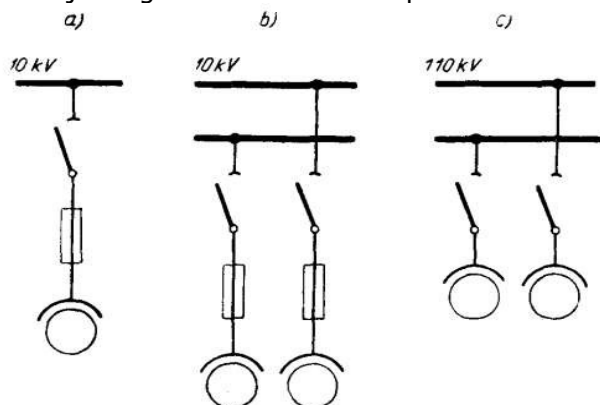
Sabirnički rastavljač služi za spajanje naponskog mjernog transformatora na sabirnicu....samo to sam uspio nać.

"Rastavljač ugrađen u polju, a čija su priključna mjesta s jedne strane vezana na sabirnice."guglah.



### 135. Kako spajamo mjerna polja

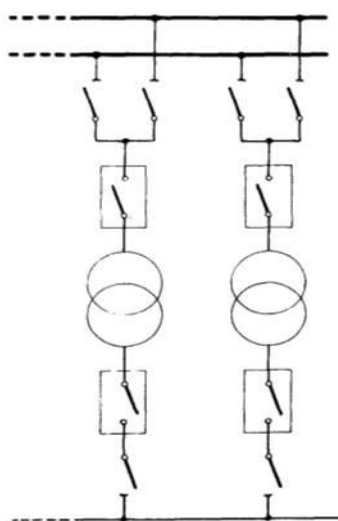
- za mjerenje napona na sabirnicama koriste se naponski transformatori koji se priključuju na sabirnice
- naponski transformatori se na sabirnice redovito priključuju preko sabirničkih rastavljača, a gdje postoje osigurači za nazivni napon sabirnica i preko osigurača



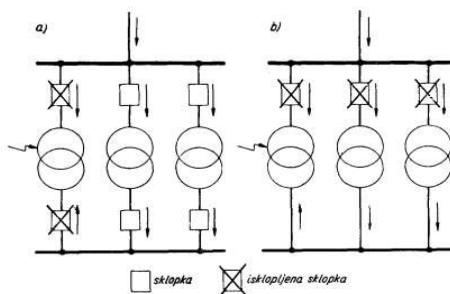
- ako se radi o postrojenju bez sabirnica, naponski se transformatori pojavljuju u svim odvodima – tada se radi jednostavnosti izvedbe naponski mjerni transformatori priključuju neposredno na odvod (bez rastavljača)

### 136. Shema spoja više paralelnih transformatora

Spoj sa sabirnicama:

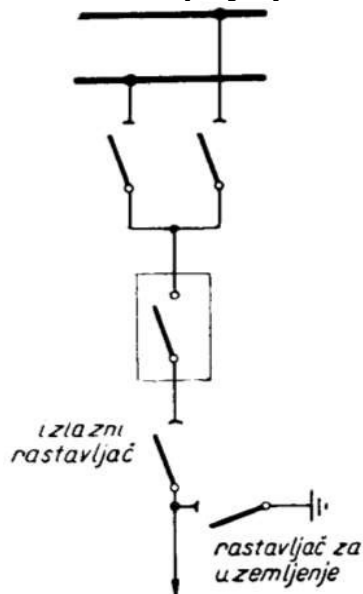


- ukoliko u postrojenju postoje dva ili više transformatoru paralelnom radu, bez obzira da li je napajanje moguće samo s jedne strane ili s obje, prekidače je nužno predvidjeti s obje strane transformatora



- u slučaju kvara na jednom transformatoru:
- a) dolazi do isklapanja samo oštećenog transformatora
  - b) dolazi do isklapanja cijele transformatorske stanice

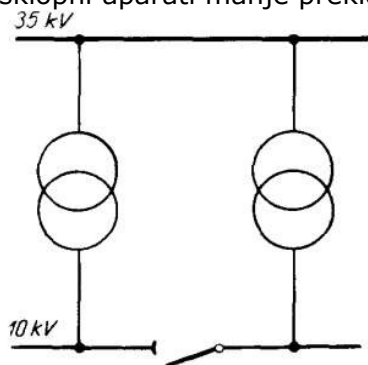
### 137. Vodno polje (rastavljač za uzemljenje)



- rastavljač za uzemljenje
- obično je izveden na istom postolju s izlaznim rastavljačem
- služi za neposredno spajanje sa zemljom zračnog voda ili kabela
- odvodi naboj koji je preostao nakon isklapanja voda ili kabela, odnosno da odvede naboj koji bi se mogao pojaviti za vrijeme prekida pogona kako bi se zaštitilo osoblje pri radovima
- štiti ljude za vrijeme rada na vodu

### 138. Sheme spoja za smanjenje struja KS.

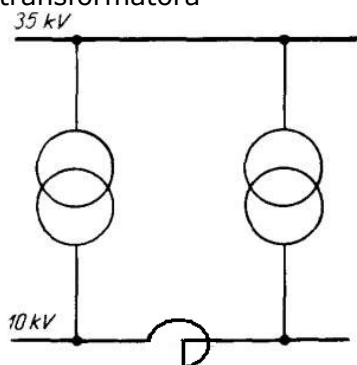
- struje kratkog spoja mogu se smanjiti izborom prikladne sheme spoja i bez posebnih prigušnica
- smanjenje struja kratkog spoja naročito je važno za postrojenja nižeg napona, jer se tako mogu smanjiti investicije za njihovu izgradnju (mogu se koristiti sklopni aparati manje prekidne modi)



- smanjenje struja kratkog spoja može se postići izbjegavanjem spajanja transformatora na strani nižeg napona

- u tom slučaju mogu se pojaviti problemi vezani uz pouzdanost opskrbe što je moguće barem djelomično riješiti ugradnjom uzdužnog rastavljača u sabirnice

- ugradnjom prigušnice u sabirnice među transformatorske priključnice na strani nižeg napon moguće je postići smanjenje struje kratkog spoja pri čemu je istovremeno omogućena i opskrba potrošača na oba dijela sabirnice iz oba transformatora

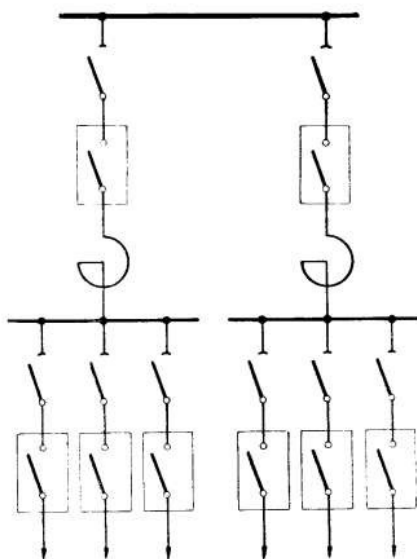


- s obzirom na prilike pri kratkom spoju povoljnije je da je relativni napon kratkog spoja prigušnice veći, a prolazna nazivna snaga (nazivna struja) manja ( $X_{pr} \sim u/S_n$ )

- s druge strane, smanjenjem nazivne struje prigušnice smanjuje se elastičnost veze između dva dijela sabirnice

- pri tome je struja kratkog spoja uvijek veća nego u prethodnom primjeru odvojenih sabirnica

- općenito, nije povoljno postavljati prigušnice među odvođe jer tada u kratkom spoju kroz prigušnicu teče samo dio te struje



- stoga se prigušnica nastoji postaviti tako da kroz nju prolazi ukupna struja kratkog spoja

- kod ovog pristupa prigušnica smanjuje struje kratkog spoja za grupu odvođa

- stoga je ovaj pristup povoljan kada postoji puno odvođa

- uporaba prigušnica za smanjenje struja kratkog spoja ima smisla samo ukoliko je na taj način moguće koristiti sklopne aparate manje prekidne modi - u suprotnom slučaju uštede su male

### **139. Uloga pomoćnih sabirnica kod niskog napona?**

Pomoćne sabirnice služe za odvajanje grupa odvoda.

- uloga pomoćnih sabirnica u NN postrojenju se razlikuje od uloge pomoćnih sabirnica u VN postrojenju

- služe kako bi se grupa odvoda koju karakterizira neko zajedničko obilježje odvojila od ostalih odvoda:

- važnost potrošača koje odvodi napajaju
- prostorni raspored odvoda
- tehnološka uloga potrošača u odvodima

- npr. – na pomoćne sabirnice priključuju se manje važni potrošači koji se u slučaju potrebe (npr. ispad jednog transformatora) mogu isključiti sklopkom S i na taj način omogućiti nesmetano napajanje važnijih potrošača koji su spojeni na glavne sabirnice

- pomoćne sabirnice se mogu izvesti na dva načina:

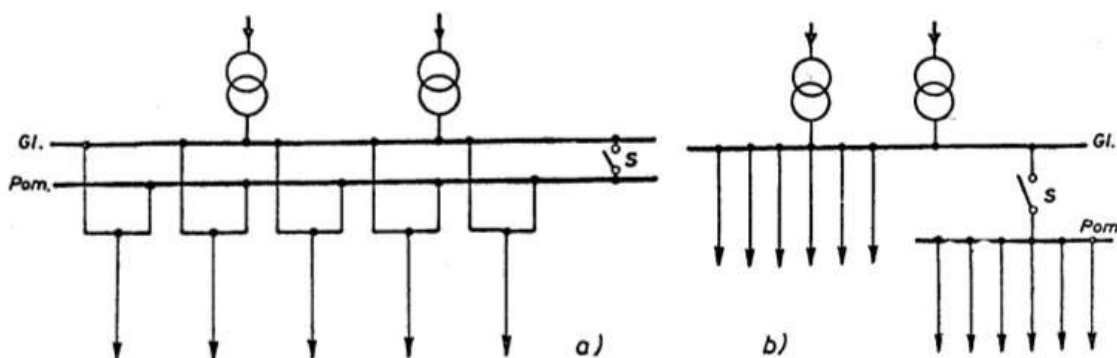
- pogonski promjenjiva
- fiksna konfiguracija

- prvi način:

- svaki odvod se putem sklopkih aparata može spojiti na glavne ili pomoćne sabirnice
- pomoćne se sabirnice napajaju s glavnih sabirnica preko sklopke S

- drugi način:

- za razliku od prethodnog slučaja, raspodjela odvoda na pomoćne i glavne sabirnice je fiksna i ne može se mijenjati u pogonu



### **140. Primjeri NN priključaka**

- **NISKONAPONSKOM MREŽOM** smatraju se strujni krugovi od izvora struje do sabirnica, odnosno priključka za osigurač na kućnom priključnom ormariću (KPO) s nazivnim naponom do 1 kV. Dakle po ovome zaključuje da je NN priključak vaša kuća, zgrada, itd.

### **141. Karakteristike i priključci industrijskih mreža**

### **141. Karakteristike i priključci industrijskih mreža**

### **142. Osnovni oblici NN mreže. O čemu ovise?**

### **143. Načini ograničenja struja KS na NN.**

- za industrijske mreže je karakteristično:
  - velika gustoća opterećenja (60-800 W/m<sup>2</sup>)
  - opterećenje je vremenski jednoličnije (godišnje vrijeme korištenja maksimalnog opterećenja 4000-7000 h/god.)
  - u Hrvatskoj se industrija uobičajeno napaja iz javne mreže (pogotovo srednja i mala industrija), a samo neke veće industrije raspolažu i vlastitim elektranama iz kojih se djelom (rijetko u potpunosti) opskrbljuju električnom energijom i to iz razloga:
- pouzdanost pogona (industrija "osjetljiva" na prekide opskrde)
- tehnološke potrebe (npr. potreba za toplinskom i električnom energijom može opravdati izgradnju elektrane-toplane)
- priključak industrije na javnu mrežu:
  - naponska razina ovisi o:
    - potrebnoj snazi
    - zahtijevanoj pouzdanosti opskrbe električnom energijom
    - lokalnoj mreži i sl.
  - u Hrvatskoj dolaze u obzir sljedeći naponi: 110 kV, 35 kV, 20 kV i 10 kV

→ Ovo dalje je OGROMAN odgovor za sva ova 4. pitanja, uglavnom treba razumijeti te industrijske mreže, a tu vam je sve o njima.

samo vrlo velike industrije se priključuju na napon 110 i 230 kV

na niski napon (0.4 kV) priključuju se vrlo mali pogoni (obrtnički pogoni)

▪ ako je srednja ili veda industrija priključena na 35 kV ili 110 kV javnu mrežu, s obzirom da industrijski potrošači trebaju električnu energiju na nižem naponu, *koriste se* 230(400) V, 500 ili 660 V, 3 kV, 6 kV, 10 kV biti će potrebno ugraditi određeni broj transformatora

• priključak industrije na javnu mrežu:

- biti de potreban to vedi broj transformatora što je vede industrijsko postrojenje odnosno ukoliko je postrojenje više prostorno rasprostranjeno
- kod manjih industrijskih postrojenja potrošači trebaju samo električnu energiju na niskom naponu (npr. 400(230) V ili eventualno 500 (660) V)

Potrošači na 400 (230), 500, 660 V	asinkroni motori i rjeđe sinkroni motori	trofazni do 300 kW
		jednofazni do 1 kW
	manje elektrolučne peći i elektrokemijska postrojenja	
Potrošači na 3, 6, 10 kV	rasvjeta	
	asinkroni motori i rjeđe sinkroni motori	6 kV do 400 kW
		10 kV do 630 kW
	veće elektrolučne peći i elektrokemijska postrojenja	

približne ekonomske granice

• priključak industrije na javnu mrežu:

- u industrijskim mrežama često su potrebni motori od skroz malih snaga (0.1 kW) do velikih (iznad 1 MW), stoga je potrebno uz što manje naponskih razina zadovoljiti sve potrebe
- za priključak motora najčešćih nazivnih snaga, ukoliko ih ima puno u industrijskom postrojenju, optimalno je umjesto 400/230 V koristiti napon 500 ili 660 V (standardiziran od IEC)
- konstrukcija i cijena motora je za te napone u principu jednaka onoj za napon 400/230 V

- veda ekonomska gornja granica snage motora
- struja motora je manja pa je kabela mreža jeftinija
- struja kratkog spoja u niskonaponskoj mreži je manja
- poboljšano upuštanje motora

• priključak industrije na javnu mrežu:

- kako je za potrebe rasvjete i ostalih manjih trošila potrebno raspolagati naponskom razinom 400/230 V primjena napona 500 ili 660 V opravdana je samo ako se radi o vedem broju motora u jednom pogonu
- ako se odabere napon 660 V onda se na taj napon priključuju motori 0.5 do 500 kW, a vedi motori na napon 10 kV
- najmanji motori se mogu priključiti na 400/230 V trofazno ili jednofazno jer ta naponska razina redovito postoji

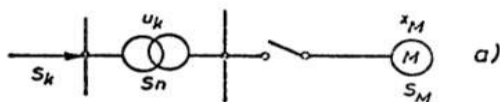
• postojanost napona u industrijskim mrežama:

- za trošila u niskonaponskim mrežama potrebno je održavati napon unutar  $\pm 5\%$  nazivnog napona (odnosi se prvenstveno na motorne pogone), a tek u izvanrednim pogonskim prilikama dozvoljava se  $\pm 10\%$
- kako se najčešće radi o kradim odvodima, odgovarajudim dimenzioniranjem presjeka i odabirom transformatora nije problem održavati napon unutar zadanih granica
- problemi u industrijskim mrežama mogu se pojaviti u izvanrednim pogonskim stanjima, kao što je upuštanje motora (struja motora 4-8 In)
- iako struja upuštanja motora traje kratko vrijeme, u tom periodu dolazi do velikih padova napona što znatno otežava zalet motora, ali utječe i na ostala trošila
- promjena napona ovisi o snazi motora, ali i o samoj mreži (da li je ona dovoljno "jaka" – u kojoj se mjeri s promjenom opteređenja mijenja napon na mjestu njegova priključka na mrežu)

• postojanost napona u industrijskim mrežama:

Primjer

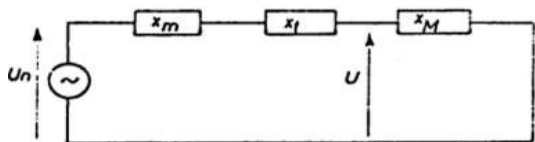
- neka se na zadanu mrežu priključuje motor snage SM preko transformatora snage Sn i napona kratkog spoja uk
- snaga trolnog kratkog spoja na priključnicama mreže je SK
- u trenutku upuštanja motora vrijedi nadomjesna shema prema slici b)



$$X_m = \frac{c \cdot U_n^2}{S_K}$$

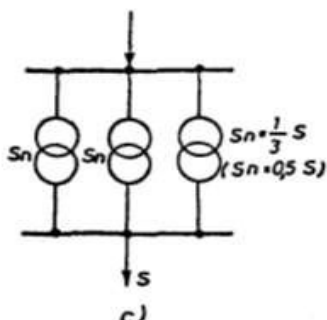
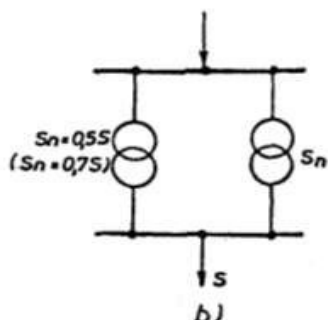
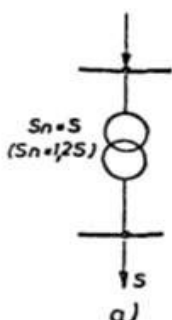
$$X_t = \frac{U_n^2}{S_n} u_k$$

$$X_M = \frac{U_n^2}{S_{nM}} x_M$$

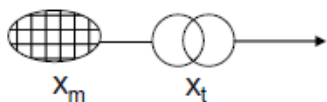


Industrijske mreže karakterizira vremenski predvidljiva potrošnja.

- broj i nazivna snaga transformatora:
  - nazivna snaga transformatora odabire se prema stvarnom i očekivanom opterećenju:
    - nazivna snaga transformatora mora biti veća ili jednaka od maksimalnog opterećenja koje se može pojaviti na mjestu njegove ugradnje
    - redovito se ipak odabire nešto veća snaga:
  - poradi porasta opterećenja u budućnosti
  - radi potrebne raspoloživosti u izvanrednim pogonskim prilikama
    - pouzdanost pogona:
      - bez obzira što je transformator pouzdan element (rijetko se kviri) ipak se često umjesto jednog transformatora koriste dva ili tri transformatora manje snage koji u pogledu snage mogu zadovoljiti ukupne potrebe
      - u tom slučaju ispad jednog transformatora omogućava da se jednim (čak znatnim) dijelom nastavi s opskrbom potrošača
- broj i nazivna snaga transformatora:
  - pouzdanost pogona:
    - a) u slučaju kvara na transformatoru sva trošila ostaju bez napajanja – za manja industrijska postrojenja to zadovoljava, pogotovo ako postoje rezervni transformator kojeg je moguće u relativno kratkom vremenu ugraditi na mjesto transformatora u kvaru
    - b) uporabom dva transformatora moguće je prilikom ispada jednog od transformatora osigurati opskrbu 50-70% trošila
    - c) uporabom tri transformatora moguće je osigurati opskrbu 66-100% trošila



- broj i nazivna snaga transformatora:
  - kratki spoj:
    - osim što broj i nazivnu snagu transformatora utječe pouzdanost opskrbe, ukupna snaga transformatora koji rade paralelno često je ograničena snagom kratkog spoja na niskonaponskoj strani transformatora
    - snaga kratkog spoja na niskonaponskoj strani transformatora gotovo je direktno proporcionalna s nazivnom snagom transformatora (to pogotovo dolazi do izražaja u industrijskim mrežama (tzv. jakim mrežama) kod kojih je impedancija visokonaponske strane mala u usporedbi s impedancijom industrijske mreže)



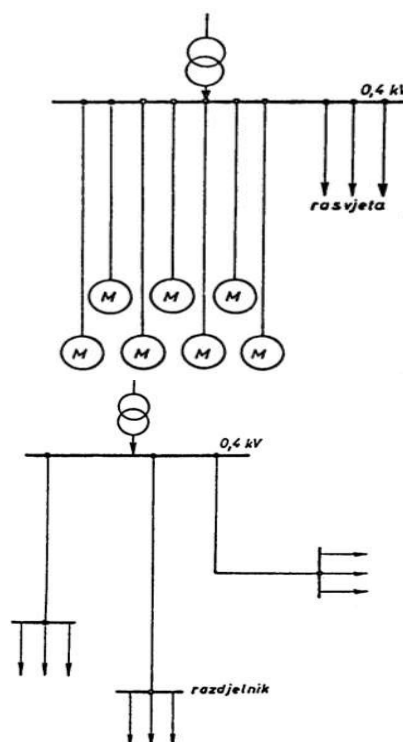
$$S_{K3} = \frac{c \cdot U_n^2}{X_d} = \frac{c \cdot U_n^2}{x_m + x_t} \approx \frac{c \cdot U_n^2}{x_t} = \frac{c \cdot U_n^2}{U_n^2} \frac{S_{nt}}{u_k} = \frac{c \cdot S_{nt}}{u_k}$$

- broj i nazivna snaga transformatora:
  - u razdjelnim mrežama nazivna snaga transformatora ograničena je na 630 kVA jer se kod te snage struja kratkog spoja približava iznosu 15 kA što je gornja granica rasklopne struje instalacijskih osigurača
  - moguće je koristiti i vede snage ali je tada potrebno instalacijske osigurače zamijeniti visokoučinski osiguračima ili NN prekidačima
  - osim toga velike struje kratkog spoja nepovoljno djeluju na izbor presjeka kabela u NN mrežama, što je dodatni razlog za ograničenje struje kratkog spoja, odnosno nazivne snage transformatora
- broj i nazivna snaga transformatora:
  - u industrijskim mrežama redovito je potrebno transformirati vede snage na jednom mjestu pa je nužna uporaba vedih transformatora
  - stoga se najčešće koriste visokoučinski osigurači i NN prekidači kao zaštita od kratkog spoja
  - ipak se poradi veličine udarne struje (mehaničkih naprezanja) snaga ograničava na:
    - 2000 MVA pri 400/230 V
    - 4000 MVA pri 660 V

ove granične snage predstavljaju ukupnu snagu paralelno spojenih transformatora pri tim snagama udarna struja se približava iznosu 100 kA što se smatra graničnom vrijednošću glede mehaničkih naprezanja
- **oblici mreže:**
  - ovise o:
    - veličini
    - rasprostranjenosti
    - važnosti trošila u industrijskom postrojenju
  - u svakom industrijskom postrojenju sigurno je potrebna naponska razina 400/230V
  - kod manjih postrojenja to je ujedno i jedina potrebna naponska razina
  - za veća industrijska postrojenja potrebne su dvije ili više naponskih razina:
  - veća trošila s obzirom na njihovu snagu povoljnije je priključiti na viši napon (3,6,10 kV)
  - neka trošila zahtijevaju nestandardne napone
  - trošila u industrijskom postrojenju su rasprostranjeni na vedoj površini zbog čega se razvod do njih provodi na višem naponu
  - u nastavku su prikazani najčešći oblici industrijskih mreža – stvarne mreže su redovito kombinacija prikazanih

### oblici mreže – radijalna mreža

- na sabirnice niskog napona priključena su trošila koji mogu biti manje ili više prostorno rasprostranjena
- s obzirom da su duljine kabela u industrijskim postrojenjima male, pad napona nije dominantan kriterij pri odabiru kabela
- kvar na jednom odvodu podrazumijeva prekid opskrbe trošila u odvodu sve dok se kvar ne ukloni
- s obzirom na malu učestalost kvarova, male duljine kabela i pristupačnost za uklanjanje kvarova ovakav oblik mreže se često koristi
- na slici je prikazana radijalna mreža 0.4 kV naponske razine – isti oblik može se koristiti i na 3, 6 i 10 kV



### oblici mreže – radijalna mreža s razdjelnicima

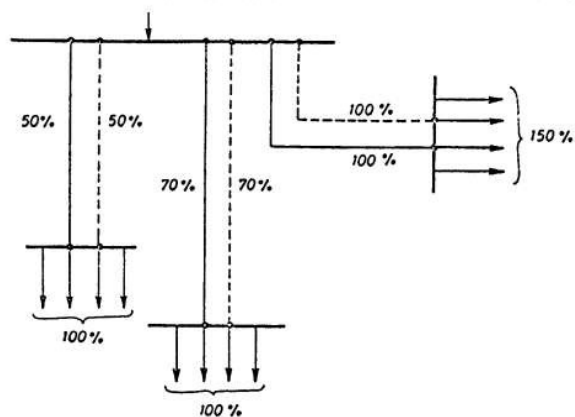
- razdjelnici su radijalno priključeni na sabirnice sekundarne strane transformatora i sa radijalnom mrežom svakog pojedinog razdjelnika
- ovakav oblik mreže pojavljuje se osim kod

niskog i kod srednjih napona

- kvar na kabelu prema razdjelniku znači ispad cijele grupe trošila koja se napaja preko razdjelnika
- ovakve mreže imaju manju pouzdanost ali su i jeftinije od prethodnog oblika radijalne mreže

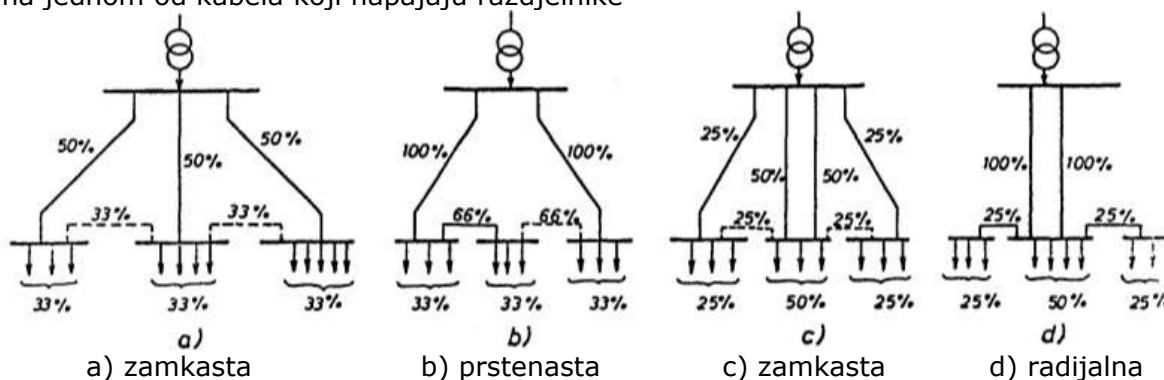
### oblici mreže – radijalna mreža s razdjelnicima

- ako se zahtjeva nešto veća pouzdanost opskrbe trošila, onda se mogu koristiti dva kabela za napajanje razdjelnika
- ovisno o željenom stupnju pouzdanosti opskrbe kabeli se dimenzioniraju za 50 do 100 % snage trošila
- ovakva je mreža skuplja ali dosta pouzdana, a pri tome još uvijek jednostavna



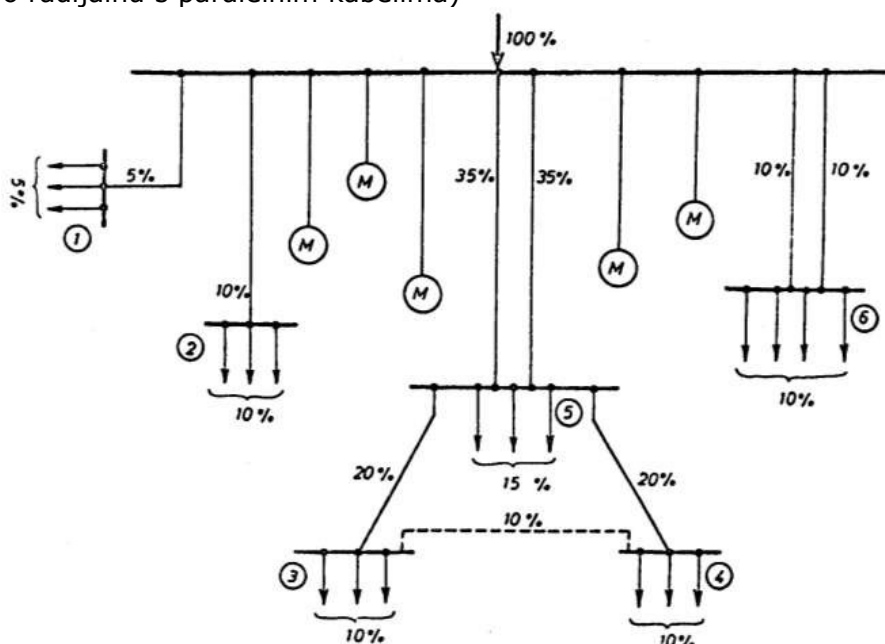
### oblici mreže – prstenasta i zamkasta mreža

- pouzdanost opskrbe može se povedati uporabom prstenaste ili zamkaste mreže
- u pogonu ove mreže rade radijalno – rezervni kabeli (prikazani crtkano) su isključeni na jednom svom kraju
- zbog radijalne pogonske strukture jednostavnija je zaštita (selektivnost)
- ovisno o važnosti trošila i zahtijevanoj pouzdanosti opskrbe, kao i prostornoj rasprostranjenosti trošila bolje će odgovarati jedno od prikazanih rješenja
- za sve je oblike mreža karakteristično da je moguće osigurati opskrbu svih trošila u slučaju kvara na jednom od kabela koji napajaju razdjelnike



### oblici mreže – primjer

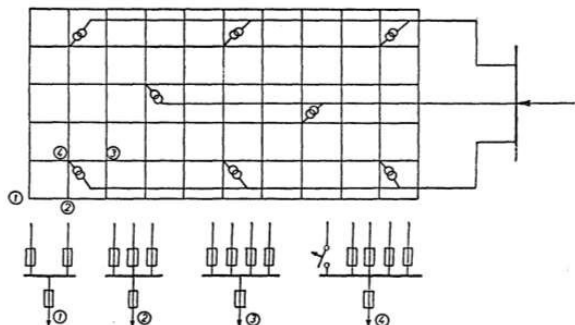
- 1,2 grupa manje važnih trošila
- 3,4,5 i 6 važna trošila (prostorni raspored trošila 3, 4 i 5 uvjetovao je prstenastu mrežu, a u slučaju 6 radijalnu s paralelnim kabelima)





## oblici mreže – zamkasta mreža

- na slici je prikazan poseban oblik NN mreže – tzv. "čisto" zamkasta mreža (mreža ima doslovno oblik *mreže*, manje ili više pravilan u realnosti)
- trošila se priključuju u čvorišta mreže kako je prikazano za čvorišta 1, 2, 3 i 4
- sve su grane u mreži jednakog presjeka i štđdene su jednakim osiguračima na oba svoja kraja
- napajanje mreže ostvaruje se preko transformatorskih stanica (npr. čvorište 4)
- u odvod transformatora na NN strani ugrađuje se NN prekidač koji djeluje kada je kvar u višenaponskoj mreži ili u samom transformatoru te na taj način sprječava napajanje kvara s NN strane
- pouzdanost opskrbe trošila u ovakvoj mreži je jako velika, ali su i snage kratkog spoja velike
- cijena ovakve mreže nije naročito velika, ali zahtijeva znatnu pažnju prilikom dimenzioniranja (proračuna)
- primjenjuje se u industriji kada je potrebno pouzdano napajati velik broj trošila podjednake snage koji su prostorno blizu smješteni
- ponekad se ovakve strukture koriste i u javnim mrežama (gradske NN mreže), ali su tada trošila smještena na otcjepe duž grana mreže



## ograničenje struje kratkog spoja:

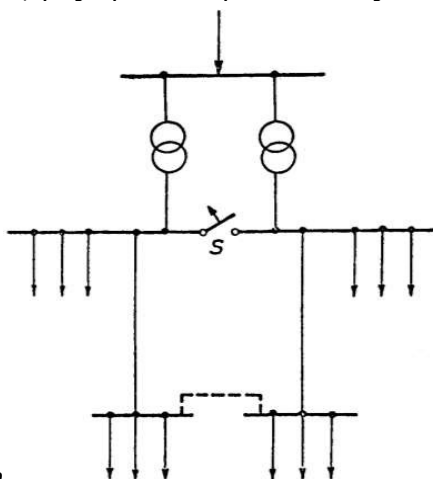
- ved je pokazano prethodno da je snaga transformatora u NN mrežama ograničena poradi struja kratkog spoja
- prema tome moralo bi se ukupnu potrebnu snagu zadovoljiti postavljanjem više manjih transformatorskih stanica
- osim što je to skupo to je i nepraktično
- osim toga postoji uvijek želja da transformatori rade paralelno
- djelomice se to može ostvariti na slijedeće načine:

### 1) način

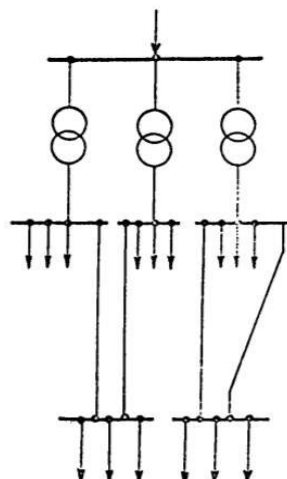
u transformatorsku stanicu postavljaju se dva transformatora, ali oni **ne rade paralelno** – trošila se mogu prema izboru priključiti na jedan od ta dva transformatora odnosno sabirnice koje oni napajaju

### 2) način

transformatori rade paralelno, ali u slučaju kratkog spoja bliskog transformatorima, kada je struja kratkog spoja velika, posebnim uređajima se provodi razdvajanje transformatora u vrlo kratkom vremenu, prije prve amplitude struje kratkog spoja



2)način



3)način

### 3) način

- transformatori rade trajno paralelno, ali tek u nekoj udaljenoj točki u mreži kako je prikazano na slici
- povedanje struje kratkog spoja uslijed paralelnog rada nije jako veliko u ovom slučaju
- preglednost ovakve mreže nije dobra pa se stoga rijetko upotrebljava

## Zaštita

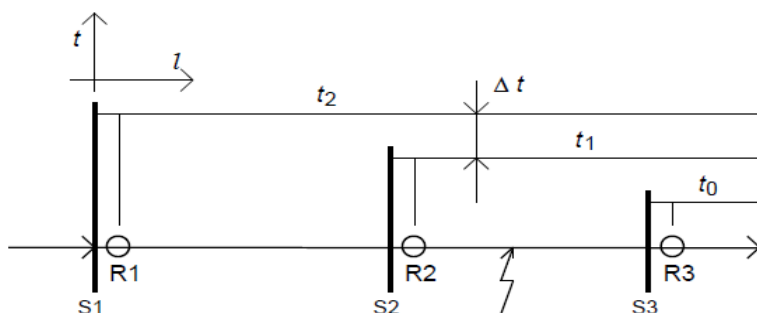
### 144. Podjela zaštite prema izvedbi i vrsti poremećaja

- **Nadstrujna zaštita** - Strujna zaštita koja djeluje kada struja, na mjestu ugradnje releja, dosegne određenu podešenu vrijednost.
- **Distantna zaštita** - Impedantna zaštita čije je djelovanje zavisno o udaljenosti između mjesta priključka (ugradnje) releja i mjesta kvara.
- **Usporedbena (diferencijalna) zaštita** - Zaštita koja uspoređuje iste električne mjerne veličine po iznosu, smjeru i fazi na oba kraja štidenog objekta. Uspoređivanje se izvodi s pomodnim vodom, komunikacijskim kabelom ili telekomunikacijskim kanalom.
- **Usmjerena (učinska) zaštita** - Zaštita koja djeluje kada se smjer struje (energije) kvara podudara s usmjerenjem releja, nezavisno ili zavisno u njenom iznosu.
- **Podnaponska zaštita** - Naponska zaštita koja djeluje kada napon, na mjestu ugradnje releja, padne ispod određene podešene vrijednosti.
- **Nadnaponska zaštita** - Naponska zaštita koja djeluje kada napon, na mjestu ugradnje releja, dosegne određenu podešenu vrijednost.
- **Podfrekvencijska zaštita** - Frekvencijska zaštita koja djeluje kada frekvencija, na mjestu ugradnje releja, padne ispod određene podešene vrijednosti. U novijim izvedbama zaštita prati se i brzina promjene frekvencije.
- **Nadfrekvencijska zaštita** - Frekvencijska zaštita koja djeluje kada frekvencija, na mjestu ugradnje releja, dosegne određenu podešenu vrijednost. U novijim izvedbama zaštita prati se i brzina promjene frekvencije.
- **Zaštita od previsoke temperature** - Zaštita koja djeluje kada temperatura štidenog objekta poraste iznad podešene vrijednosti (npr. termički relej kod transformatora).

### 145. 4 temeljna zahtjeva zaštite. Svojstva zaštite:

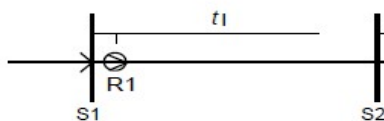
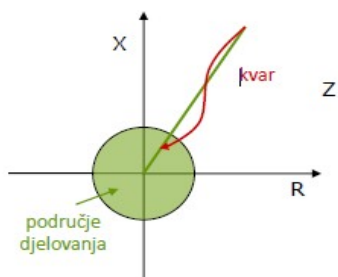
- zaštita mora otkriti poremećaj
- poremećaj se prostorno ograničava jer treba isključiti samo pogođeni element sustava
- poremećaj se vremenski ograničava jer je šteta koja nastaje na pogođenom elementu sustava veća, što kvar dulje traje
- zaštitni uređaji djeluju neispravno zbog kvarova u njima samima

### 146. Nadstrujna



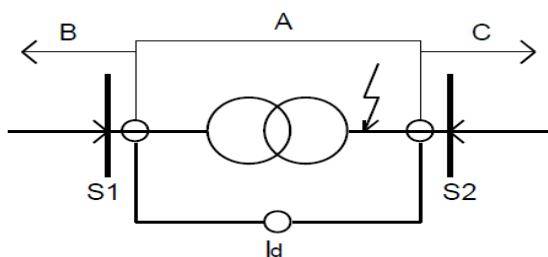
Nadstrujna zaštita djeluje kada struja, na mjestu ugradnje releja, dosegne određenu podešenu vrijednost. Slika prikazuje smještaj tri nadstrujna releja u radikalnoj mreži. Svaki djeluje u vlastitom vremenu kako bi se postigla selektivnost (isključivanje kvarom pogođenog dijela mreže). Ako je kvar na prikazanom mjestu reagiraju relej 1 i 2, no kako su im vremena reagiranja različita prvo reagira relej 2 i isključuje ostatak mreže, dok relej jedan ostaje u pogonu. Da je kvar iza R3 reagirao bi prvo taj relej jer ima najkraće vrijeme reagiranja.

### 147. Distantna



Distantna zaštita, na mjestu ugradnje releja, djeluje kada impedancija (omjer napona i struje) dosegne podešenu vrijednost. Kako je jedinična impedancija voda uglavnom konstantna (krivulja Z), ovi releji u stvari određuju udaljenost kvara od releja. Zbog nepreciznosti mjerenja pokrivaju dio voda (70-90%).

## 148. Diferencijalna



Diferencijalna zaštita uspoređuje iste električne mjerne veličine po iznosu, smjeru i fazi na oba kraja štice objekta. Uspoređivanje se izvodi s pomoćnim vodom, **komunikacijskim kabelom ili telekomunikacijskim kanalom.**

## 149. usmjerena (učinska) zaštita:

Zaštita koja djeluje kada se smjer struje (energije) kvara podudara s usmjerenjem releja, nezavisno ili zavisno u njenom iznosu.

## 150. Ostale zaštite:

Podnaponska zaštita - Naponska zaštita koja djeluje kada napon, na mjestu ugradnje releja, padne ispod određene podešene vrijednosti.

Nadnaponska zaštita - Naponska zaštita koja djeluje kada napon, na mjestu ugradnje releja, dosegne određenu podešenu vrijednost.

Podfrekvencijska zaštita - Frekvencijska zaštita koja djeluje kada frekvencija, na mjestu ugradnje releja, padne ispod određene podešene vrijednosti. U novijim izvedbama zaštita prati se i brzina promjene frekvencije.

Nadfrekvencijska zaštita - Frekvencijska zaštita koja djeluje kada frekvencija, na mjestu ugradnje releja, dosegne određenu podešenu vrijednost. U novijim izvedbama zaštita prati se i brzina promjene frekvencije.

Zaštita od previsoke temperature - Zaštita koja djeluje kada temperatura štice objekta poraste iznad podešene vrijednosti (npr. termički relej kod transformatora).

## 151. Releji i izvedbe

Relej (zaštitni relej) je uređaj čiji je zadatak isključiti dio elektroenergetskog sustava ili signalizirati opasnost u slučaju pojave kvara (npr. kratkog spoja) ili smetnje u pogonu elektroenergetskog sustava.

Prema načinu djelovanja :

- osnovna zaštita
- rezervna zaštita

Prema štice elementima: - zaštita transformatora, generatora, sabirnica, vodova,...

– Brzi releji su: diferencijalni, distantni releji (u prvom stupnju djelovanja) i nadstrujni releji s trenutnim isključenjem. Ovi releji nemaju svojstvo rezerve, tj. djeluju samo pri kvarovima u osnovnom štice području.

– Spori releji su: nadstrujni releji, distantni releji (u višim stupnjevima djelovanja) i svi ostali releji kombinirani s vremenskim relejem. Spori releji imaju svojstvo rezerve, tj. djelovanja pri kvarovima i zatajenju osnovne zaštite na susjednim elementima sustava.

## 152. Osjetljivost

- Relej je osjetljiv kada još sigurno djeluje pri očekivanoj najmanjoj vrijednosti mjerne veličine
- Najmanje vrijednosti mjerne veličine mogu se pojaviti na primjer pri malom uvrštenju generatora, smanjenom broju uzemljenih točaka, u paralelnom pogonu vodova, uslijed znatne promjene konfiguracije mreže, uslijed otpora na mjestu kvara (otpora luka i prijelaznog otpora).

## 153. Selektivnost

- Relej selektivno djeluje ukoliko isključi kvar samo na upravo pogođenom elementu mreže. To znači da relej ne smije isključiti kvar na susjednim elementima elektroenergetskog sustava.
- Selektivnost zaštite osigurava se izvedbom (diferencijalni relej je uvijek selektivan dok se kod nadstrujnog i distantnog releja selektivnost može postići vremenskim stupnjevanjem).

## 154. Brzina djelovanja

• Vrijeme djelovanje releja je vrijeme koje proteče od trenutka nastanka kvara do trenutka kada se na izlaznim kontaktima releja pojavi signal za isključenje prekidača. Relej je brz ako mu je vrijeme djelovanja kraće od **50 ms**. Najkraće vrijeme djelovanja releja koji su danas u pogonu je **15-30 ms**. Vlastito vrijeme releja je vrijeme djelovanja releja, uz pretpostavku da je vremenska odgoda (vremensko zatezanje) signala postavljena na ništicu.

• Vrijeme trajanja kvara se određuje tako da se vremenu djelovanja releja pribroji vrijeme djelovanja prekidača, koje iznosi **50 - 100 ms**.

### **155. Pouzdanost**

- Relej je pouzdan ako mu je pouzdanost veća od pouzdanosti bilo kojeg uređaja ili dijela postrojenja u štidenom području.
- Pouzdanost releja slijedi iz dvije zadaće:
  - relej mora djelovati pri kvaru (ne smije zakazati),
  - relej ne smije neželjeno djelovati (neselektivno djelovati, djelovati ako nema kvara).
- Matematička definicija pouzdanosti je vjerojatnost uspješnih djelovanja releja. Uspješno djelovanje releja ima dvije komponente:
  - osjetljivost otkrivanja kvarova, uz najnepovoljnije uvjete djelovanja,
  - sigurnost djelovanja, koja je ovisi o stupnji zamršenosti izvedbe zaštite,a time uz manje ili više uspješno održavanje.

### **156. Rezerva**

- Relej djeluje rezervno kada isključi kvar na susjednom elementu elektroenergetskog sustava čija zaštita nije djelovala iz bilo kojeg razloga (naprimjer: zatajenje releja, zatajenje prekidača, nestanak pomodnog napona, neosjetljivost zaštite).
- Rezervno djelovanje može se osigurati u istom postrojenju ili susjednom postrojenju.

### **157. Prilagodljivost**

Prilagodljivost primjene je mogućnost ugradnje releja na bilo koje mjesto, za zaštitu istovrsnog uređaja, u elektroenergetskom sustavu.

### **158. Ekonomičnost**

Ekonomičnost releja ovisi o objektu koji zaštita štiti. Uobičajena vrijednost **sustava zaštite je 2 do 5% vrijednosti šticeenog objekta.**

### **159. Primjeri.**

Valjda zaštite: